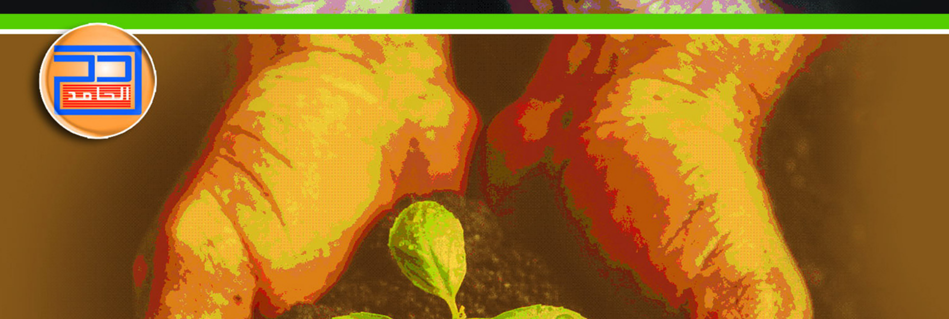
مخاطر تكنولوجيا النانو

NANOTECHNOLOGY

الدكتور
محمد هاشم البشير محمد



بسم الـلـه الرحمن الرحيم

مخاطر تكنولوجيا النانو

Nanotechnology

مخاطر تكنولوجيا النانو

Nanotechnology

الدكتور

محمد هاشم البشير محمد



بسم الـلـه الرحمن الرحيم

(فمن يعمل مثقال ذرة خيراً يره)

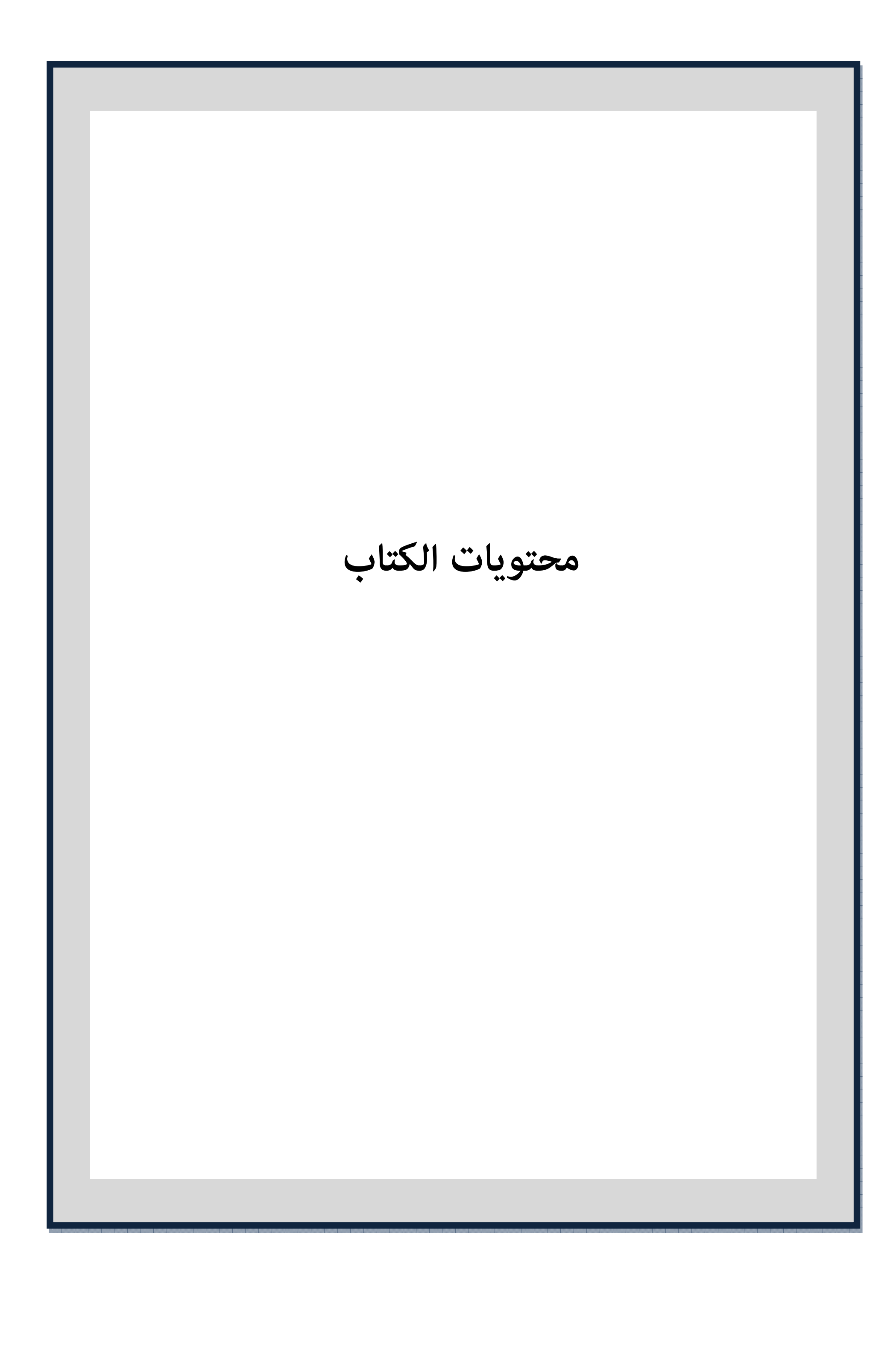
صدق الـلـه العظيم

سورة الزلزلة: الآية (7)

الإهـــــداء

إلى أستاذي محمد إبراهيم محمد ...

أول من فتح بصيرتي على هذا العلم



محتويات الكتاب

المحتويات

الموضـــــــــوع	الصفحة

المقدمة

بدأ في الآونة الأخيرة الاهتمام بخطـورة مـا توصـلت إليـه التكنولوجيـا عمومـاً في العقود الأخيرة من هذا القرن لأنها أصبحت تهدد البيئة بمـا فيهـا الإنـسان نفـسه. فمنـذ القدم سعي الإنسان إلى تحقيق حاجياته ومع مـرور الـزمن توصـل إلى درجـة عاليـة مـن التقدم الصناعي بفضل التطور التعليمي والتكنولوجي مما نجم عنـه إنتـاج آلاف الأطنـان من الغازات السامة والنفايات الضارة لما تحمله من إشعاع أو روائح كريهة أو مواد صـلبة من معادن وبلاستيك وقد انعكست على البيئة عامة وأصبحت تهـدد الإنـسان. مـن ذلـك مخـاطر الطاقـة النوويـة أو الطاقـة الذريـة ومخـاطر الغـازات الـسامة و مخـاطر المـواد الكيماوية والنفايات.

إن كلمة التكنولوجيا مصطلح مركب إغريقي الأصل حوته جميع دوائـر المعـارف في اللغات كافة ويتألف من كلمتين Techno وهـي مجمـوع الحـرف والفنـون الإنـسانية (مهارة الحرفة)، وlogos وهو المنطق الذي يثير الجدل (الحديث عن مهارة الحرفة)، وقد استعملت لأول مرة في انكلترا في القرن السابع عشر وكانت تعني دراسة الفنون النافعة.

التكنولوجيا كما وردت في معجم ويبستر بأنها (علم تطبيـق المعرفـة لأغـراض معينــة)، أي العلــم التطبيقــي. أمــا الأمــم المتحــدة ووكالاتهــا المتخصــصة فتعــرف التكنولوجيــا بأنهــا (مجمــوع المعــارف والأســاليب العمليــة التطبيقيــة التــي تتــيح تحقيق هدف محدد على أسـاس الـتمكن مـن المعـارف العلميـة الأساسـية) وبـصيغة

أخرى (مجموع المعارف المقرونة بالأساليب العلمية التطبيقية التـي تجعـل مـن الممكـن انجاز هدف محدد على أساس إتقان المعرفـة المختـصة بـه). فالتكنولوجيـا تنطـوي عـلى البعد الحضاري الذي يصاحب استخدام العدد والطرق المتبعة في الإنتاج.

وعموماً فان العلم والتكنولوجيا يمثلان محور عجلة التقدم في عالمنا اليوم، وتمثـل تكنولوجيا النانو أحد أبرز معالم الثورة العلمية القادمة.

وبجانب آخر أصبحت تكنولوجيا النانو نهجاً تكنولوجياً سريع الظهور يتوقع منـه أن يسفر في عدة قطاعات صناعية عن تغيرات رئيسية تعود بأوجه تقدم للمجتمع ومزايـا للبيئة، ولكنه قد ينطوي أيضاً على تحديات جديدة وخصوصاً للصحة والسلامة.

إن التطور السريع لتطبيقات النانو في الميادين العديـدة، ومـا يقابلـه مـن نقـص كبير في معرفة الآثار المترتبة على ذلك، يدعو إلى كثير من الحـذر. فـصناعة المـواد متناهيـة الصغر صناعة سريعة النمو، سواء من حيث الحجم الإجمالي أو من حيث عدد المـصنعين. ولكن المعرفة بالمخاطر الصحية والبيئية المحتملة لتكنولوجيا النانو تكاد تكون نادرة. هـذا ينطبق أيضا على كيفية تأثيرها على الإنسان الذي لا شك في أنه سيكون أكثر عرضة للمـواد متناهية الصغر.

وعلى الرغم من وجود أدلة كافيـة تـشير إلى أن تطـوير واسـتخدام المـواد متناهية الـصغر يجلـب المخـاطر عـلى الـصحة والبيئـة. إلا أن الدراسـات في هـذا المجال ما زالت ضئيلة للغاية. فالتطور السريع في تكنولوجيا النانو يقابلـه للأسـف

نقص كبير في المعلومات عن مدى مخـاطر اسـتخدامها. ومـن نتـائج الاختبـارات المبدئيـة لتـأثير مـواد النـانو عـلى الحيوانـات تـشير إلى أن استنـشاق الجـسيمات النانويـة يفتـك بالحيوان وهذا يدل ـ مما لا يدع للشك ـ على أثارها الضارة على صحة الإنسان.

الهدف من هذا الكتاب عرض التحديات الجديدة والأخطـار والمخـاطر الجديـدة التي تثيرها التكنولوجيا النانوية. مع التأمين على احتمالات إسهام التكنولوجيـا النانويـة في التنمية المستدامة.

بالرغم من نقص المعلومات الحاد عن مخاطر النـانو إلا أن هـذا الكتـاب يعطـي صورة للباحث العربي عن الوجه الآخر لهذه التكنولوجيا الجديدة حتى نـستطيع أن نـوفر تقنية نانوية صديقة للبيئة.

الباب الأول

تكنولوجيا النانو والمواد المتناهية الصغر

تقنية النانو هي مجال للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، تغطـي مجموعـة واسـعة من الجوانب العلمية والهندسية. و ذلك كله يدور حول السيطرة عـلى أي أمـر في حجـم أصغر من الميكروميتر، هذا بدوره يتسع فيشمل ميـادين متعـددة الاختـصاصات العاليـة، مستفيداً من الفيزياء والكيمياء ويسقطه بعد ذلـك عـلى جوانـب تطبيقيـة كثـيرة. هنـاك الكثير من التكهنات حول تكنولوجيا النانو وما قد تنتجـه هـذه التكنولوجيـا مـن خطـوط بحثية متقدمة. فالبعض يـرى النـانو تـسويقاً لمـصطلح موجـود مـن قبـل يـصف خطـوط البحوث التطبيقية الواسعة لكل ما يتعلق بحجم ميكرون. ورغم بـساطة هـذا التعريـف إلا أن النانو تضم مختلف مجالات الحياة لان النانو تخلل مجالات عديدة، بما فيها العلوم والكيمياء والبيولوجيا والفيزياء التطبيقية لذا فانـه يمكـن أن يعتـبر امتـداداً لكـل العلـوم القائمة، ويقدر عادة بإعادة صياغة العلوم القائمة باستخدام أحدث وأكثر الوسائل عصرية. فهناك نهجين رئيسيين تستخدم تكنولوجيا النانو: الأول من "القاعدة إلى القمة " التي هي مواد وأدوات البناء من الجزيئـات التـي تجمـع بينهـا عنـاصر كيميائيـة تـستخدم مبـادئ الاعتراف الجزيئي؛ الآخر "من القمة إلى القاعدة" التي تهدف إلى تحقيـق مبنـى أكـبر مـن الكيانات دون المستوى الذري.

إن كل هذا الزخم حول تكنولوجيا النانو نـابع مـن الاهـتمام بـالعلوم وتوقعـات ميلاد ثورة جديدة بعد إضافة ذلك الجيل الجديد من الأدوات التحليلية مثل مجهر القـوة الذرية، ومسح حفر نفق المجهر.

النانو من جانب آخر هي أيـضا مظلـه لوصـف التطـورات التكنولوجيـة الناشـئة المرتبطـة الفرعيـة والمجهريـة الأبعـاد. وعـلى الـرغم مـن الوعـد العظـيم للتكنولوجيـات المتناهية الدقة مثل حجم النقاط النانو متريه، فقـد حققـت الطلبـات التـي خرجـت مـن المختبر إلى السوق والتي تستخدم أساسـا مزايـا نـانو بـارتيكليس في معظـم أشـكاله مثـل مستحضرات التجميل والطلاءات الواقية الملابس والصناعات المختلفة.

مفهوم النانو تكنولوجي

مفهوم النانو:

تذكر الموسوعة الحرة ويكيبيديا، أن مصطلح نانو يعني الجزء من المليار؛ فالنانو متر هو واحد على المليار من المتر و لكي نتخيل صغر النانو متر نذكر ما يلي؛ تبلغ سماكة الشعرة الواحدة للإنسان 50 ميكرومترا أي 50,000 نانو متر, وأصغر الأشياء التي يمكن للإنسان رؤيتها بالعين المجردة يبلغ عرضها حوالي 10,000 نانو متر، وعندما تصطف عشر ذرات من الهيدروجين فإن طولها يبلغ نانو مترا واحدا فيا له من شيء دقيق للغاية.

و قد يكون من المفيد أن نذكر التعاريف التالية:

مقياس النانو: يشمل الأبعاد التي يبلغ طولها نانومترا واحدا إلى غاية الـ100 نانو متر

علم النانو: هو دراسة المبادئ الأساسية للجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز قياسها الـ100 نانو متر.

تقنية النانو: هو تطبيق لهذه العلوم وهندستها لإنتاج مخترعات مفيدة.

تاريخ النانو تكنولوجي

في عـام 1959 تحـدث العـالم الفيزيـائي المـشهور ريتـشارد فـيمان إلى الجمعيـة الفيزيائية الأمريكية في محاضرتـه الـشهيرة قـائلاً بـأن المـادة عنـد مـستويات النـانو (قبـل استخدام هذا الاسم) بعدد قليل من الذرات تتصرف بـشكل مختلـف عـن حالتهـا عنـدما تكون بالحجم المحسوس، كما أشار إلى إمكانية تطوير طريقة لتحريك الـذرات والجزئيـات بشكل مستقل والوصـول إلى الحجـم المطلـوب، وعنـد هـذه المـستويات تتغـير كثـير مـن المفـاهيم الفيزيائيـة فمـثلاً تـصبح الجاذبيـة أقـل أهميـة وبالمقابـل تـزداد أهميـة التـوتر السطحي وقوة تجاذب فاندر فالز، وقد توقع أن يكون للبحوث حول خصائص المادة عنـد مستويات النانو دوراً جذرياً في تغيير الحياة الإنسانية. وقبل هذه المحاضرة، وبـالرغم مـن وجود أبحاث قليلة على مواد بمستوي النانو وإن كانت لم تسمى بـهذا الاسم، فقـد تمكـن أهلير من تسجيل مشاهداته للسيلكون الأسـفنجي (Porous silicon) عـام 1956، وبعـد ذلك بعدة سنوات تم الحصول على أشعاع مرئي من هذه المادة لأول مرة عام 1990 حيث زاد الاهتمام بـها بعدئذ.

كما أمكن في الستينات تطوير سوائل مغناطيـسية (Ferro fluids) حيـث تـصنع هـذه الـسوائل مـن حبيبـات أو جـسيمات مغناطيـسية بأبعـاد نانويـة، كـما اشـتملت الاهتمامات البحثية في الستينات على ما يعرف بالرنين البارامغناطيسي الإلكـتروني (EPR) لإلكترونات التوصيل في جـسيمات بأبعـاد نانويـة تـسمى آنـذاك بـالعوالق أو الغروانيـات (Colloids) حيـث تنـتج هـذه الجـسيمات بالفـصل أو التحلـل الحـراري (heat de-composition).

وفي عام 1969 اقترح ليو ايساكي تصنيع تركيبات شبه موصلة بأحجام النانو، وكذلك تصنيع شبيكات شبه موصلة مفرطة الصغر، وقد أمكن في السبعينات التنبؤ بالخصائص التركيبية للفلزات النانوية كوجود أعداد سحرية عن طريق دراسات طيف الكتلة (mass spectroscopy) حيث تعتمد الخصائص على أبعاد العينة غير المتبلورة.

كما أمكن تصنيع أول بئر كمي (quantum well) في بعدين في نفس الفترة بسماكة ذرية أحادية تلاها بعد ذلك تصنيع النقاط الكمية (quantum dots) ببعد صفري والتي نضجت مع تطبيقاتها هذه الأيام.

وقد ظهر مسمى تقنية النانو عام 1979 عبر تعريف البروفيسور نوريو تانيقوشي في ورقته العلمية المنشورة في مؤتمر الجمعية اليابانية للهندسة الدقيقة حيث قال (أن تقنية النانو ترتكز على عمليات فصل، اندماج، وإعادة تشكيل المواد بواسطة ذرة واحدة أو جزيء)، وفي نفس الفترة ظهرت مفاهيم علمية عديدة تداولتها الأوساط العلمية حول التحريك اليدوي لذرات بعض الفلزات عند مستوي النانو، ومفهوم النقاط الكمية، وإمكانية وجود أوعية صغيرة جداً تستطيع تقييد إلكترون أو أكثر.

ومع اختراع الميكروسكوب النفقي الماسح Scanning Tunneling Micropscpe(STM) بواسطة العالمان جيرد بينج وهينريك روهر عام 1981، وهو جهاز يقوم بتصوير الأجسام بحجم النانو، زادت البحوث المتعلقة بتصنيع

ودراسة التركيبات النانوية للعديد من المواد. وقـد حصل العالمــان عـلى جائــزة نوبـل في الفيزياء عـام 1986 بسبب هـذا الاختراع.

وبعد ذلك بعدة سـنوات نجـح العـالم الفيزيـائي دون ايجلـر في معامـل IBM في تحريك الذرات باستخدام جهاز الميكروسـكوب النفقـي الماسـح، مـما فـتح مجـالاً جديـداً لإمكانية تجميع الذرات المفردة مـع بعـضها، وفي نفـس الوقـت تـم اكتـشاف الفلورينـات بواسطة هارولد كرونو،ريتشارد سمالي وروبرت كيرل، وهـي عبارة عن جزيئات تتكون مـن 60 ذرة كربون تتجمع على شكل كـرة قـدم (وقـد حـصلوا عـلى جـائزة نوبـل في الكيميـاء 1996).

وفي عام 1995 تمكن العالم الكيميائي منجي باوندي من تحضير حبيبات من شـبه الموصلات الكادميوم / الكبريت (أو السلينيوم) أصغرها ذات قطر 3 – 4 نانومتر.

أما طرق تحضير العينات النانوية غير المتبلـورة والمعتمـدة عـلى تقنيـات الليـزر، البلازما أو الحفر بشعاع الكتروني وغيرها فقد وجدت منذ منتصف الثمانينيات.

كما أن المفهوم الفيزيائي للتقييد الكمي الإلكـتروني (quantum confinement) قد بدأ في أوائل الثمانينات أيضاً.

وقد سجلت أول قياسات على تكميم التوصيلية في نـهاية الثمانينيات وأمكــن تــصنيع أول ترانـزيــستور وحيــد الإلكــترون (single electron

transistor). وفي عام 1991 تمكن البروفيسور سوميو ليجيما من جامعة ميجي من اكتشاف أنابيب الكربون النانوية، وهي عبارة عن أنابيب أسطوانية مجوفة قطرها بضعة نانومتر ومصنوعة من شرائح الجرافيت.

وبعد ذلك تم اكتشاف ترانزستور أنابيب الكربون النانوية عام 1998، حيث يصنع على صورتين أحداها معدنية والأخرى شبه – موصلة، ويستخدم هذا الترانزستور في جعل الإلكترونات تتردد جيئة وذهاباً عبر إلكترودين.

وتكمن أهمية هذا الترانزستور ليس فقط في حجمه النانوي ولكن أيضاً بانخفاض استهلاكه للطاقة وانخفاض الحرارة المنبعثة منه.

وفي عام 2000 تمكن العالم الفيزيائي المسلم منير نايفه من اكتشاف وتصنيع عائلة من حبيبات السليكون أصغرها ذات قطر 1 نانو وتتكون من 29 ذرة سليكون سطحها على شكل الفولورينات الكربونية إلا أن داخلها غير فارغ وإنما تتوسطها ذرة واحدة منفردة،هذه الحبيبات عند تعريضها لضوء فوق بنفسجي فإنها تعطي ألوانا مختلفة حسب قطرها تتراوح بين الأزرق والأخضر والأحمر، أما التجمع الذاتي (self-assembly) للجزيئات، أو ربطها تلقائياً مع سطوح فلزية فقد أصبحت في الوقت الحاضر ممكنة لتكوين صف من الجزئيات على سطح ما كالذهب وغيره.

أن من وجهة النظر الفيزيائية الالكترونية يعتبر النانوتكنولوجي الجيل الخامس الذي ظهر في عالم الإلكترونيات الذي يمكن تصنيف ثوراته التكنولوجية

على أساس أنها مرت بعدة أجيال شكلت أسباب الورود الحقيقـي للنـانو الـذي عـبر عـن المرحلة الراهنة لها:

- الجيل الأول ويتمثل في استخدام المصباح الإلكتروني (Lamp) بما فيه التلفزيون.
- الجيل الثاني ويتمثل في اكتشاف الترانزيستور، وانتشار تطبيقاته الواسعة.
- الجيل الثالـث مـن الإلكترونيـات ويتمثـل في اسـتخدام الـدارات التكامليـة (IC، Integrate Circuit) وهي عبارة عـن قطعـة صـغيرة جـداً شـكلت مـا تـشكله تقنيات النانو في وقتنا الحالي مـن قفـزة هامـة في تطـور وتقليـل حجـم الـدارات الالكترونية فقد قامت باختزال حجم العديد من الأجهزة بل رفعت مـن كفاءتهـا وعددت من وظائفها.
- الجيـل الرابـع ويتمثـل في اسـتخدام المعالجـات الـصغيرة (Microprocessor)، الذي أحـدث ثـورة هائلـة في مجـال الإلكترونيـات بإنتـاج الحاسـبات الشخـصية (Personal Computer) والرقائق الكومبيترية السيليكونية التي أحدثت تقـدماً في العديد من المجالات العلمية والصناعية.
- الجيـل الخـامس ويتمثـل فـيما صـار يعـرف باسـم النـانوتكنولوجي nano technology

ظهور تقنية النانو

كـان أول مـن أثـار هـذا التـساؤل عـالم الفيزيـاء ريتـشاد فيـنمان (Richard Feynman) والذي أعلن عن ظهـور تكنولوجيـا حديثـة في مهـدها الأول في ذلـك الوقـت سميت بالنـانو تكنولـوجى وذلـك منـذ قرابـة 4 عقـود, ثـم قـام إريـك دريكـسلر (Eric Drexler) عـام 1975 بـصياغة مفهـوم للنـانو تكنولـوجي, وبـالرغم مـن التـأخر في هـذه التقنية مقارنة بالتقدم الهائل في علوم الكمبيوتر وغيرها من تكنولوجيـا الاتـصالات, إلا أن هذه التقنية عاودت الظهور بكثافة عالية مؤخراً منذ عام 1990م وهى البدايـة الحقيقيـة لعصر تكنولوجيا النانو.

يمكن تعريف المواد المتناهية في الصغر على أنها المواد التي لهـا بعـد واحـد عـلى الأقل في سلم النانومتر أقل من (nm100). فالمواد المركبة انطلاقاً من الجزيئات المتناهيـة في الصغر تكون أشد صلابة وأكثر مرونة من المواد العادية

أبعاد مواد النانو تتراوح بـين عـشرة ومائـة نـانو مـتر.(nm = 10-3µ = 10^{-9}m1) لتصور أبعاد هذه المواد نقارنهـا بأجـسام أخـرى، فمـثلا؛ بعـد الـذرة يـتراوح بـين nm0,1 وnm0,4 بينما يقدر سمك جزيئة الحامض الأمينـي ADN ب nm2 أمـا طولهـا فيـصل إلى 10 أمتار. أما طول فيروس ما فيتراوح بين 10 nm و 100 nm وسـمك شـعرة الإنـسان تتراوح بين 50000 nm و 100000 nm

تصنيف المواد المتناهية في الصغر

يمكن الحصول على أجسام متناهية في الصغر في أشكال مختلفة؛ جزيئات، أليـاف أو قنوات (تسمى شحنة أو تقوية)، طبقات رقيقة أو مركبات بنيوية. وللأنابيب الكربونية المتناهيـة في الـصغر أهميـة خاصـة نظـراً لتطبيقاتهـا المتعـددة؛ الناتجـة عـن خواصـها الميكانيكية، الإلكترونية والبيزوكهربائية المتميزة.

تستعمل الأجسام المتناهية في الصغر إما مبـاشرة أو لـصنع مـواد أخـرى ويمكـن تصنيفها إلى ثلاثة عائلات:

- **المواد المقواة أو المشحونة بمواد متناهية في الصغر:**

تدمج الأجسام المتناهية في الصغر في مادة ما لإعطاء وظيفـة جديـدة لهـذه المادة أو لتغيير خواصها.

- **المواد المتناهية في الصغر المهيكلة في السطح:**

كسوة مادة ما بطبقة أو عدة طبقات متناهية في الصغر يعطي سـطح هـذه المـادة خـواص جديـدة (مقاومـة التعريـة، مقاومـة التأكـسد، مقاومـة التآكل.....).

- **المواد المتناهية في الصغر المهيكلة في الحجم**

إنتاج المواد المتناهية الصغر

تنقسم طرق تحضير مواد النانو إلى قسمين: الأولى تخص تقليص المواد وتسمى من "الأعلى إلى الأسفل" والثانية تخص تركيب مواد النانو انطلاقا من الذرات وتسمى من "الأسفل إلى الأعلى".

الطريقة الأولى: من الأعلى للأسفل (top-down) حيث تبدأ هذه الطريقة بحجم محسوس من المادة محل الدراسة ويُصغّر شيئاً فشيئاً حتى الوصول إلى المقياس النانوي، لقد تمكنت بعض التقنيات التي ظهرت منذ أكثر من 50 سنة من تحضير حبات من المادة ذات أبعاد جد صغيرة. من هذه التقنيات، تقنيات التبريد السريع، الكيمياء العذبة أو تقنيات sol-gel مثلا. كما أن هناك تقنيات أخرى تسمح بتحضير جزيئات بأبعاد صغيرة جدا مثل؛ القوس الكهربائي، الليزر، البلازما أو الموجات. وهكذا تم الحصول على حبات ذات أبعاد مقاربة لأبعاد العيوب التي تتحكم في بعض خواص المادة مثل؛ الانفكاك (الخواص الميكانيكية)، (حواجز بلوك Bloch) الخواص المغناطيسية (والظواهر التي ليس لها مفعول إلا في السلم النانو متري (مفعول النفق، مفعول الحصر).

الطريقة الثانية: من الأسفل للأعلى (bottom-up) حيث تبدأ هذه الطريقة بجزيئات منفردة كأصغر وحدة وتُجمّع في تركيب أكبر. وغالباً ما يستخدم في ذلك الطرق الكيميائية، وتتميّز تلك بصغر حجم المادة الناتجة (نانو متر واحد) بالإضافة إلى قلة الهدر للمادة الأصلية والحصول على قوة ترابط بين الجسيمات النانوية الناتجة.

وعموماً عند تصنيع المواد بحجم النانو فإن التركيب الفيزيـائي والتركيـز الكيميـائي للمواد الخام المستخدمة في التصنيع تلعب دوراً مهماً في خصائص المادة النانويـة الناتجـة، وهذا خلافاً لما يحدث عند تصنيع المواد العادية.

خصائص المواد النانوية وفق التصنيع

1- **حجم الجزيئات:** (particle size) فالحجم مهم عندما تتعامل مع المواد النانوية فمثلا السيليكون النانوي عندما يكون حجم الجزيئـات nm1 فـإن الـسيليكون يـشع أزرق بينما إذا كان حجم جزيئات السيليكون nm3 فإنهـا تـشع في المنطقـة الحمـراء ومـا بينها يشع أخضر على عكس المواد عندما تكون bulk فـالحجم يكـون غـير مهـم ولا تتغير خصائص المادة إذا اختلاف حجمها.

2- **شكل الجزيئات:** (particle shape) فـشكل الجزيئـات (سـداسي – كـروي – ثـلاثي....) مهم جدا في المواد النانوية فعندما تتغير تتغير معها خصائص المادة.

3- **توزيع الجزيئات:** (size distribution) فهو مهم جـدا في تحديـد خـواص المـواد هـل التوزيع منتظم أم غير منتظم أو هل هي مستقرة أم غير مستقره.

4- **تركيب الجزيئات:** (particle composition).

5- **درجة تجمـع الجزيئـات:** (degree of particle agglomeration) نلاحـظ في الـصورة التي في الأسفل (صورة المجهر الإلكتروني SEM) تكتـل الجزيئـات متباعـدة (النقـاط البيضاء).

ويمكن تصنيع المواد النانوية -كما ذكر الصالحي الضويان- على عدة أشكال ومـن أهمها ما يلي:

1- النقاط الكمية Quantum dots:

وهي عبارة عن شبه موصل ثـلاثي الأبعـاد يـتراوح إبعـاده بـين 2 إلى 10 نـانومتر، وهـذا يقابـل 10 إلى 50 ذرة في القطـر الواحـد أو تقريبـاً 100 إلى 100000 ذرة في حجـم النقطة الكمية الواحدة. وتقـوم النقطة الكمية بتقييد إلكترونات شريط التوصيل وثقـوب شريط التكافؤ أو الاكسبتونات (وهي عبـارة عــن زوج مـرتبط مــن الكترونـات التوصـيل وثقوب التكافؤ). كما تبدى النقاط الكميـة طبقـاً طاقيـاً مكمـما متقطعـا وتكـون الـدوال الموجية المقابلة متمركزة داخل النقطة الكمية. وعندما يكون قطر النقطة الكمية يـساوي 10 نانومتر فإنه يمكن رصف 3 ملايين نقطة كمية بجانـب بعـضها الـبعض بطـول يـساوي عرض إصبع إبـهام الإنسان.

2- الفولورين Fullerene:

وهو عبارة عن جزئ مكـون مـن 60 ذرة مـن ذرات الكربـون ويرمـز لـه بـالرمز C60، وقد اكتشف عام 1985م. ومظهره ويشبه إلى حد كبير كرة القدم التي تحتوي على 12 شكلاً خماسياً و20 شكلاً سداسياً.لقد سمى هذا التركيـب بـالفولورين نـسبة للمخـترع والمهندس المعماري وبكمنستر فولر (R. Buckminster Fuller).

وهكذا فقد نشأ فرع جديد يسمى كيمياء الفولورين حيث عرف أكثر مـن 9000 مركب فولورين منذ عام 1997م، وظهـرت تطبيقـات مختلفـة لكـل مـن هـذه المركبـات، ومنهـا المركبـات K3C60 وRbcs2C60 وC60-CHBr3 التـي أبـدت توصـيلية فائقـة (superconductivity).

كما امتـشقت أشـكال أخـرى منهـا كـالفولورين المخروطـي والأنبـوبي إضـافة إلى الكروي.

3- **الكرات النانوية nanoballs:**

من أهمها كرات الكربون النانوية والتي تنتهي إلى فئـة الفولورينـات، مـن مـادة C60، لكنها تختلف عنها قليلاً بالتركيـب حيـث أنــها متعـددة القـشرة.كـما أنــها خاويـة المركز، على خلاف الجسيمات النانوية، بينما لا يوجد على السطح فجوات كما هـي الحـال في الأنابيب النانوية متعددة الغلاف. وبسبب أن تركيبها بشبه البصل فقد سـماها العلـماء (البصل) Bucky وقد يصل قطر الكرات النانوية إلى 500 نانومتر أو أكثر.

4- **الجسيمات النانوية: Nanoparticles**

على الرغم مـن أن كلمـة (الجـسميات النانويـة) حديثـة الاسـتخدام إلا أن هـذه الجسيمات كانت موجودة في المـواد المـصنعة أو الطبيعـة منـذ زمـن قـديم. فعـلى سـبيل المثال، تبدو أحياناً بعض الألوان الجميلة من نوافذ الزجاج الـصدئة وذلـك بـسبب وجـود مجموعات عنقودية صغيرة جداً من الأكاسيد الفلزية في الزجاج حيث يصل حجمها قريبـاً من الطول الموحى للضوء.

وبالتالي فإن الجسيمات ذات الأحجام المختلفة تقوم بتشتيت أطوال موجبة مختلفة من الضوء مما ينتج عنه ظهور ألوان مختلفة من الزجاج.

يمكن تعريف الجسيمات النانوية على أنها عبارة عن تجمع ذري أو جزئي ميكروسوبي يتراوح عددها من بضع ذرات (جزئي) إلى مليون ذرة، مرتبطة ببعضها بشكل كروي تقريباً بنصف قطر أقل من 100 نانومتر.

فجسيم نصف قطري نانومتر واحد سوف يحتوي على 25 ذرة أغلبها على سطح الجسيم، وهذا يختلف عن الجزئي الذي قد يتضمن عدداً من الذرات بأن أبعاد الجسيم النانوي تقل عن أبعاد حرجة لازمة لحدوث ظواهر فيزيائية معينة مثل: متوسط المسار الحر الذي تقطعه الإلكترونات بين تصادمين متتالين مع الذرات المهتزة، وهذا يحدد التوصيلية الكهربائية. وللتجمع الذري أعداد سحرية من الذرات لتكوين الجسيمات النانونية، فجسيمات السيلكون النانوية، مثلاً، تتكون من أعداد محددة من الذرات وليس عند أي عدد، لينشأ جسيمات بأنصاف أقطار محددة 1، 1.67، 2.15، 2.9 نانومتر فقط.

عند تعرض هذه الجسيمات لأشعة فوق بنفسجية فإنها تبعث ضوء بلون مرئي طوله الموجي يتناسب عكسياً مع مربع قطر الجسيم، وبالتالي يمكن رؤية ألوان مرئية معينة.

عندما يصل حجم الجسيمات النانوية إلى مقياس النانو في بعد واحد فإنها تسمى البئر الكمي (quantum well)، أما عندما يكون حجمها النانوي في بعدين فتسمي السلك الكمي (quantum wire)، وعندما تكون هذه

الجسيمات بحجم النانو في ثلاثة أبعاد فإنـها تعرف بالنقاط الكمية (quantum dots).

ولابد من الإشارة هنا إلى أن التغير في الأبعاد النانوية في التركيبات الثلاثة السالفة الذكر سوف يؤثر على الخـصائص الإلكترونيـة لهـا، مـما يـؤدي إلى حـدوث تغيـير كبـير في الخصائص الضوئية للتركيبات النانوية.

تكتسب الجسيمات النانوية أهمية علمية حيث أنـها تقع بين التركيب الحجمـي الكبير للمادة وبين التركيب الذري والجزئي، حيث تحتوي هذه الجسيمات في العـادة عـلى 106 ذرة أو أقل، أما الجزئي فإنه يمكن أن يحتوي على 100 ذرة أو أقل وقـد يـصل نـصف قطرة إلى أكثر من نانو متر واحد.ومن الخصائص المهمة وغير المتوقعة للجسيمات النانويـة هو أن الخصائص السطحية للجسيمات تتغلب على الخصائص الحجمية للمادة.

وبينما تكون الخصائص الفيزيائية للمادة الحجمية ثابتة بغض النظر عن حجمها، فإن تلك الخصائص للمادة عندما تصل إلى مقياس النانو سوف تتغير وبالتالي تعتمـد عـلى حجمها، مثل التقييد الكمي في الجسيمات النانوية شبه الموصلة، رنين البلازمون الـسطحي في بعض الجسيمات النانوية الفلزية.

ويلاحظ كذلك أن النسبة المئوية للـذرات الـسطحية للـمادة تـصبح ذات أهميـة بالغة عندما يقترب حجم المادة من مقياس النانو، بينما عندما تكون المادة الحجمية أكـبر من 1 ميكرومتر فإن النسبة المئوية للـذرات عنـد سـطحها سـتكون صـغيرة جـداً بالنـسبة للعدد الكلي للذرات في المادة.

ومن الخصائص الأخرى للجسيمات النانوية هو إمكانية تعلقها داخل سائل أو محلول بدون أن تطفئ أو تنغمر وذلك لأن التفاعل بين سطح الجسيمات والسائل يكون قوياً بحيث يتغلب على فرق الكثافة بينهما لقد أمكن حديثا تصنيع جسيمات نانوية من الفلزات والعوازل وأشباه الموصلات والتركيبات المهجنة (مثل الجسيمات النانوية المغلقة) وكذلك تصنيع نماذج لجسيمات نانوية ذات طبيعة شبه – صلبه وهي الليبوزومات.

ومن الصور الأخرى للجسيمات النانوية هي النقاط الكمية شبه الموصلة واللورات النانوية.وتعتبر جسيمات النحاس النانوية التي يصل حجمها إلى أقل من 50 نانومتر ذات صلابة عالية وغير قابلة للطرق أو السحب وذلك عكس ما يحدث لمادة النحاس العادية حيث يمكن ثنيها وطرقها وسحبها بسهولة.

5- الأنابيب النانوية: Nanotubes

تصنع الأنابيب النانوية، أحيانا، من مواد غير عضوية مثل أكاسيد الفلزات (أكسيد الفاناديوم، أكسيد المنجنيز)، تبتريد البرون والموليبدينوم، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية، ولكنها أثقل منها وليست بنفس القوة مثل أنابيب الكربون

وتعد أنابيب الكربون النانوية التي اكتشفت عام 1991م أكثر أهمية نظراً لتركيبها المتماثل وخصائصها المثيرة واستخداماتها الواسعة في التطبيقات الصناعية، والعلمية، وفي الأجهزة الإلكترونية الدقيقة، والأجهزة الطبية الحيوية.

يمكن وصف أنابيب الكربون على أنـها عبارة عن شرائح من الجرافيت يتم طلبها حول محور ما لتأخذ الشكل الأسطواني حيث ترتبط ذرات نــهايتي الـشريحة مـع بعـضها لتغلق الأنبوب.

تكون إحدى نـهايتي الأنبـوب في الغالـب مفتوحـة والأخـرى مغلقـة عـلى شـكل نصف كرة، كما قد يكون جدار الأنبوب فردي الذرات وتـسمي في هـذه الحالـة بالأنابيـب النانويـة وحيـدة الجـدار (singl wall nanotube SWNT)، أو ثنـائي أو أكـثر وتـسمى الأنابيب متعددة الجدار MWNT (multi wall nanotube) ويتراوح قطر الأنبوب بين أقل من نانومتر واحد إلى 100 نانومتر (أصغر من عرض شعرة رأس بمقـدار 50000 مـرة)، أما طوله فقد يصل إلى 100 مايكرومتر ليشكل سلكاً نانوياً.

للأنابيب النانوية عدة أشكال فقد تكون مستقيمة، لولبية، متعرجة، خيزرانية أو مخروطية وغير ذلك.

كما أن لهذه الأنابيب خصائص غير اعتيادية من حيث القوة والصلابة والتوصيلية الكهربائية وغيرها. كما أن للكربون النانوي أشكالاً أخرى مثـل الكـرات النانويـة والأليـاف النانوية. ويتم إنتاج أنابيب الكربون النانوية بعدة تقنيات منها، التفريغ القوسي، الكحـت الليزري، الترسيب بواسـطة أول أكـسيد الكربـون ذي الـضغط العـالي، والترسـيب بواسـطة البخار الكيميائي.

6- **ألياف النانوية Nanofibres**:

لاقت الألياف النانوية اهتماماً كبيراً مؤخراً لتطبيقاتـها الـصناعية. وقـد اكتـشف العديد مـن أشـكالها كالأليـاف الـسداسية والحلزونيـة والأليـاف الـشبيهة بحبـة القمـح (coen-shaped).

إن الجزء الجانبي لليف النانوى اللويحي أو الأنبوبي له شكل سداسي، مثلاً، وليس أسطوانياً ومن أشـهر الأليـاف النانويـة تلـك المـصنوعة مـن ذرات البـوليمرات. إن نـسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة في حالة الألياف النانوية، كما للأنابيـب النانويـة،حيث أن عدد ذرات السطح كبير مقارناً بالعدد الكلي، وهذا يكسب تلك الألياف خواص ميكانيكيـة مميزة كالصلابة وقوة الشد وغيرها مما يؤهلها بلا منافس لاستخدامها كمرشحات في تنقية السوائل أو الغازات، وفي الطب الحيوي وزراعة الأعضاء كالمفاصل ونقل الأدوية في الجسم وفي التطبيقات العسكرية كتقليل مقاومة الهـواء إلى آخـره مـن التطبيقـات لا سـيما بعـد تطوير طرق التحضير.

هناك أكثر من طريقة لتحضير الألياف البوليمرية، من أشـهرها التـدوير الكهـربي (electrospinning) ولا زالت تواجه العديد من الـصعوبات للـتحكم بخـصائص الأليـاف الناتجة كاستمراري واستقامتها وتراصفها كما في الشكل.

7- **الأسلاك النانوية:** Nanowires

هي أسلاك بقطر قد يقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة أي بنسبة طـول إلى عرض تزيد عن 1000 مرة.

لذا فهي تلحق بالمواد ذات البعد الواحد، وكما هو متوقع ن فهي تفوق على الأسلاك التقليدية (ثلاثية الأبعاد)، وذلك بسبب أن الإلكترونات تكون محصورة كميا باتجاه جانبي واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن تلك المستويات العريضة الموجودة في المادة الحجمية.

وهنا تتضح أهمية الذرات السطحية مقارنة بالداخلية لظهور ما يعرف بالتأثير الحافي. وبسبب خضوعها للحصر الكمي المبني على ميكانيكا لكم، فسيكون لها توصيلية كهربية تأخذ قيما محددة تساوي تقريباًً مضاعفات المقدر 12.9 كيلو أوم - 1. وهي لا توجد في الطبيعة ولكنها تحضر في المختبر حيث منها الفلزي (كالنيكل والفضة والبلاتينيوم). وشبه الموصل (كالسيلكون ونترات الجاليوم وفوسفات الانديوم) والعازل (كالسيليكات وأكسيد التيتانيوم)، ومنها الأسلاك الجزيئية العضوية (DNA) وغير العضوية (مثل Mo6S9-xlx Li2Mo6Se6 التي ينظر لها كتجمعات بوليمرية) ذات القطر 0.9 من النانومتر وبطول يصل لمئات من المايكرومتر. يمكن استخدامها، في المستقبل القريب، لربط مكونات الكترونية دقيقة داخل دائرة صغيرة أو عمل وصلات ثنائية p-n وكذلك بناء الدوائر الإلكترونية المنطقية وقد تستخدم متقبلاً لتصنيع الكمبيوتر الرقمي.

لذا فتطبيقاتها الإلكترونية المتوقعة كثيرة جداً مما سيقود إلى الحساسات الحيوية الجزئية النانوية وللأسلاك النانوية عدة أشكال فقد تكون حلزونية (spiral) أو تكون متماثلة خماسية الشكل وقد تكون الأسلاك النانوية

عند تحضيرها في المختبر على شكل أسلاك متعلقة من طرفها العلوي أو تكون مترسبة على سطح أخر.

ومن الطرق المستخدمة لإنتاج الأسلاك المتعلقة عمل كحت كميائي لسلك كبير أو قذف سلك كبير بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية.

8- **المركبات النانوية:** Nanocomposites

هي عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية خلال تصنيع تلك المواد ونتيجة لذلك فإن المادة النانوية تبدي تحسناً كبيراً في خصائصها.

فعلى سبيل المثال، يؤدي إضافة أنابيب الكربون النانوية إلى تغيير خصائص التوصيلية الكهربائية والحرارية للمادة.

وقد يؤدي إضافة أنواع آخري من الجسيمات النانوية إلى تحسين الخصائص الضوئية وخصائص العزل الكهربي وكذلك الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والقوة.

يجب أن تكون النسبة المئوية الحجمية للجسيمات النانوية المضافة منخفضة جداً (في حدود 0.5% إلى 5%) وذلك بسبب أن النسبة بين المساحة السطحية إلى الحجم للجسيمات النانوية تكون عالية تجرى البحوث حالياً للحصول على مركبات نانوية جديدة ذات خصائص ومميزات تختلف عن المركبات الأصلية. ومن المركبات النانوية المعروفة الآن هي المركبات البوليمرية النانوية.

تطبيقات النانو المختلفة

التطبيقات الطبية لتقنية النانو هي التطبيقـات الأهم لهذه التقنية مـن بـين كـل التطبيقات المتوقعة من هذه التقنيـة الحديثـة وذلـك لارتباطهـا المبـــاشر بحيـاة وصـحة الإنسان، فتقنية النانو تعد بالكـثير مـن التطبيقـات الطبيـة المتعلقـة بالتـشخيص الـدقيق والعلاج عالي الكفاءة وكذلك الكثير من التطبيقات في مجال الرعايـة الـصحية، فمواجهـة أكثر الأمراض فتكا بالإنسان مثـل أمـراض الـسرطان سـتكون ممكنـة بـإذن الله في غـضون العشر السنوات القادمة وذلك من خـلال طـب النـانو nano- medicine والـذي بـدأت الكثير من أبحاثه وتطبيقاته التجريبية في الكثير من مراكز الأبحاث حول العالم. وفي ما يلي نستعرض أهم التطبيقات الطبية المستقبلية لتقنية النانو:

1- اكتشاف الخلايا المصابة بالسرطان:

الكانتيلفير cantilever هو جهاز دقيق جداً بمقياس النانو حيـث تقـارب أبعـاده أبعاد كرية الدم البيضاء وهو احد أجهزة النانو المستقبلية والتي تستطيع رصد واكتـشاف الخلايا المصابة بالسرطان وذلك من خلال انحناء نتوءاتها الدقيقة. وأجهزة النانو كـانتيلفير يمكن تصميمها هندسيا بشكل خاص يمكنها من الارتباط بالخلايـا التـي تـشير تغيراتهـا إلى الإصابة بأنواع مختلفة من أمراض السرطان، وتتميز هـذه الأجهـزة بقـدرتها الفائقـة عـلى تشخيص خلايا السرطان في مراحلها المبكرة، وذلك بدقة تصل إلى حد اكتشاف خلية سرطانيـة واحـدة، والجـدير بالـذكر أن هـذه الأجهـزة أجهـزة النـانو كـانتيلفير مـا زالـت في مراحـل

تطويرها الأولى، وهي من تطبيقات تقنية النانو المتقدمة جداً والتـي مـا زالـت في حاجـة لمزيد من البحث والدراسة.

2- **توصيل الأدوية:**

من المعلوم أن علم الأدوية من العلوم التي تحتاج لدقة عالية وذلـك لارتباطهـا ارتباطا مباشراً بصحة الإنسان , فوصول كمية كبـيرة مـن الـدواء إلى أعـضاء الجـسم الغـير مصابة تقلل من فعالية الدواء وتؤدي إلى حدوث آثـار جانبيـة غـير مرغـوب فيهـا. فعـلى سـبيل المثـال نجـد أن الوسـائل التقليديـة لمعالجـة مـرض الـسرطان كـالعلاج الكـيمائي والإشعاعي تؤدي إلى آثار جانبيـة كبـيرة مـع انخفـاض فعاليتهـا في معالجـة هـذا المـرض , وعليه فان من المهم أن يتم إيصال الأدويـة المـضادة للـسرطان إلى الأجـزاء المـصابة بدقـة متناهية جدا للحصول على أقصى فائدة ممكنه من الدواء.

وحاليا يعكف العلماء على دراسة احد تطبيقـات النـانو المـستقبلية والمتمثلـة في تقنية إيصال الدواء باستخدام احد أجهزة النـانو والمـسمى الدينـدريمر DENDRIMER وهو احد أجهزة النانو الخاصة بإيصال الدواء والقادرة عـلى الـدخول بـسهولة إلى الخلايـا المصابة وتزويدها بكميات متعددة مـن الـدواء دون حـدوث أي نتـائج سـلبية , وأجهـزة النانو (الديندريمر) تتميز بقدرتها على تحديد الخلايا المصابة وعلاجها وكذلك إعطاء تقرير عن مدى فعالية الدواء.

أُدخـل حاليـا مـصطلح جديـد إلى علـم الطـب هـو النـانو بيوتـك وهـو البـديل الجديـد للمـضادات الحيويـة. ففـي جامعـة (هـانج بـانج) في سـيؤول أسـتطاع البـاحثون

إدخال نانو الفضة إلى المضادات الحيوية، ومن المعروف أن الفضة قادرة على قتل 650 جرثومه ميكروبيه دون أن تؤذى جسم الإنسان.

هذه التقنية سوف تحل الكثير من مشاكل البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية التي أحدثت طفرات تحول دون تأثير المضاد على هذه البكتيريا ومن أمثله البكتريا المقاومة: Staphylococcus aureus و Pseudomonas. حيث يقوم النانو بيوتك بثقب الجدار الخلوي البكتيري أو الخلايا المصابة بالفيروس مما يسمح للماء من الدخول إلى داخل الخلايا فتباد.

4- **في العمليات الجراحية:**

يُستخدم ربوت صغير بحجم النانومتر كمساعد للأطباء في العمليات الجراحية الحرجة والخطرة, يستطيع الطبيب أن يتحكم في الروبوت بواسطة جهاز خاص مما يساعد في إنجاح العملية بكفائه عاليه وبدقه متناهية وهي أفضل من الطرق التقليدية وتقلل من المخاطر كثيراً. حيث يستخدم الجراح عصاة التحكم تمكنه من التحكم بذراع الروبوت الذي يحمل الأجهزة الدقيقة وكاميرا مصغره وذلك ليحول التحركات الكبيرة إلى تحركات صغيرة وهذا يتيح مزيدا من الدقة الجراحية.

5- **علاج مرض السكري:**

نجحت جامعه (الينوى) في الولايات المتحدة الأمريكية في تطوير جهاز مُهَندس بالتقنية النانونية يزرع في الجسم يعمل على تنظيم السكر في الدم وهى

تغني مرضى السكري عن حقن الأنسولين والجميل أنها سوف تنزل بالأسواق قريباً.

6- التصوير الطبي:

يمكّن التصوير بالنانو الباحثين والأطباء من تعقب أي حركة تحدث في النسيج الحي داخل جسم الإنسان. وفي مستطاع الأطباء هنا التعرف بدقة على حركة الدواء داخل النسيج المريض , هذا وان دراسة بعض خلايا الجسم يكون صعباً، ومن هنا يلجأ العلماء إلى تلوينها وهناك مشكلة أخرى ألا وهي أن الخلايا التي تصدر أمواجا ضوئية مختلفة في الطول لا تعمل بشكل واحد أو بكيفية واحدة على الدوام , الأمر الذي يجعل عمليات التصوير الطبي تواجه مشاكل على صعيد التشخيص الصحيح, وقد تمكن العلماء من حل هذه المشكلة وذلك باستخدام بعض جزئيات النانو التي تبدي ردود فعل مختلفة إزاء الترددات الموجية المختلفة الناشئة بطبيعة الحال عن اختلاف طول الموجة.

الأدوات نانوية مستخدمة في المجال الطبي:

1. الأجهزة المجهرية الدقيقة والمطورة مثل المجهر الإلكتروني الماسح.

2. المعدات المستخدمة في تصوير الخلايا والبكتيريا والفيروسات والوحدات الجزيئية.

3. جزيئات الكربون حيث يتم تشكيلها لإنتاج مواد أقوى 100 مرة من الفولاذ على الرغم من أن وزنها سدس وزن الفولاذ وأكثر من النحاس من ناحية

التوصيل، ويمكن أن يستخدم بأمان في بعـض التطبيقـات الطبيـة مثـل أنظمـة إيـصال الأدوية وتعتبر من أشهر الأمثلة.

4. في استخدام تقنية النانو في الطب مثل Nanotubes، Fullerenes..

5. الأجهزة الدقيقة التي تضم النظم الكهربائيـة الـصغيرة (MEMS) والتـي تحتـوي عـلى أجزاء متحركة مصغره للعمليات الجراحية والأجهزة المنظمة لضربات القلب.

6. ميكرو فلويديكس (Microfluidics) لإجراء اختبارات الحمض النووي.

7. ميكرو ارايس (Microarrays) والتي تستخدم للكشف عن الكميـات القليـة للبكتريـا المرضية.

النانو تكنولوجي بين الاقتصاد والصناعة

الجدوى الاقتصادية لتكنولوجيا النانو:

إن تقنية النانو الآن أصبحت مستخدمة في الكثير من القطاعات، الصيدلية، التقنيات الحيوية، المواد العلمية والهندسية والجميع يتعاون في استخدام أدوات النانو وتطوير فهمها المشترك للخصائص الفيزيائية والكيميائية.عند مستوى مقياس النانو فإن جميع القوانين الفيزيائية والكيميائية العادية لا يبقى لها وجود، فعلى سبيل المثال أنابيب نانو الكربون أقوى 100 مرة من الفولاذ وأخف ست مرات منه. ولذا تتميز هذه التقنية في مجالات استخدامها البشري بأن الشيء المصنوع منها أصغر وأرخص وأخف وأقدر على أداء الوظيفة المناطة بها. وتتوقع المختصون أن يبلغ حجم سوق منتجات هذه التقنية عام 2015 إلى ما يقارب تريليون دولار.

الفوائد الصحية والطبية لتقنيات النانو لا حصر لها اليوم وستشهد نمواً مضطرداً لا يمكن لنا وصفه، فأبحاث علاج السرطان والبحث الدقيق عن وجود خلاياه تبشر بما يحل محل كل وسائل العلاج والفحوصات الطبية المتوفرة اليوم وتركيزي على الجانب الاقتصادي في هذا المقال هو تشجيع وضع خطة وطنية تهدف إلى توطين ونقل تقنية صناعة النانو، انطلاقاً من أهمية هذا المجال على مختلف الأصعدة العلمية والصناعية والاقتصادية و يكون هدفها النهائي الوصول بالأبحاث المعتمدة إلى منتجات صناعية ذات مردود اقتصادي يساهم في دعم الاقتصاد الوطني.

صحيح أن الولايات المتحدة، اليابان، ألمانيا وكوريا الجنوبية لا زالت المصادر الرئيسية في مجال تطوير أبحاث تقنية النانو، ولكن الصين وتايوان يضيقان الفجوة بسرعة، وذلك يعود بشكل كبير إلى الاستثمارات العامة في مجال التطوير والأبحاث، بالإضافة إلى الاستثمار في التعليم العلمي. وعوائدها المالية مرتفعة للغاية، فهي تمثل مزيجاً بين العلم و التقنية التي يمكن أن توجه نحو التطبيقات العملية.

والحقيقة أن تقنية صناعة النانو لا تزال في بدايتها بين الحقيقة العلمية والرؤى الطموحة، بين الممارسات الأولى والتوقعات الهادفة. حيث أنه من المتوقع حصول تقنية صناعة النانو على تأثير فعال ومتميز في الاقتصاد العالمي، إلا أن النصيب التسويقي يعد مؤشرا مناسبا للتعرف على مظاهرها الاقتصادية.

لقد نشأت توقعات معظم الأسواق بدءا من أوائل عام 2000 و حتى عام 2015. وخلال هذه الفترة فإن أفضل الأرقام المعروفة عن السوق المستقبلي لتقنية النانو قد تم نشره في عام 2001. حيث قدر بأن السوق العالمي لمنتجات تقنية النانو سوف يصل إلى 1 تريليون دولار أمريكي بحلول عام 2015م. اعتمادا على تقنية النانو وإسهامها بالقيمة المضافة للمنتجات النهائية بالإضافة إلى درجة كفاءتها، في حين يتوقع الآخرون بأن هذه القيم المضافة سوف تصل إلى 2.6 تريليون في 2014 أما (مركز لوكس للأبحاث) فقد كان أكثر تفاؤلا والذي يتوقع بأن تكون سوق المنتجات المعتمدة على تقنية النانو أكبر من سوق المنتجات المعتمدة على تقنية المعلومات والتقنية الحيوية ولجميع التقنيات

المتوقعة بالسوق ويمكن أن تتعدى التوقعات بعشر مرات بينما يمكن تقسيم منتجات تقنية النانو إلى أربعة مجموعات أساسية: وسائل النانو و مواد النانو و معدات النانو وأجهزة النانو الطبية كما انه من المتوقع أن تدخل جميع منتجات النانو في زيادات واضحة، لذا لابد من التفسير الدقيق لأي مقارنة للأرقام والتوقعات الفعلية من المصادر المختلفة والتحليلات المختلفة وتمثل أدوات النانو في هذه التقديرات الدور الأكبر في الأسواق العالمية على الرغم من نسب النمو الضئيلة، بينما نجد أن تقنية النانو الحيوية هي الأعلى في نسبة النمو.

ويطرح القول هنا بأن تقنية النانو لا زالت في مرحلة الانطلاق والتأثير على الاقتصاد العالمي. لذا ما هي التطورات بين 2006 و2015 التي ستقود إلى سوق يصل إلى تريليون دولار لتقنية النانو؟ من خلال الجمع لتطبيقات تقنية النانو في الأسواق، نجد أنه من المتوقع أن تستحوذ منتجات النانو المتوفرة على النصيب الأكبر. إن التوقعات لالكترونيات النانو تصل إلى حوالي 300 مليار مع حلول عام 2015 والتي تغطي العديد من المنتجات. وهذه المعلومات تقود إلى افتراض أن مواد النانو ستعطي إسهاما كبيرا للأسواق المستقبلية.

لقد وضع مركز لوكس للأبحاث نموذج لثلاث مراحل تمثل التوقعات الأكثر شمولية للتطورات الحاصلة في أسواق تقنيات النانو حيث يتم تقديم منتجات تقنية عالية الجودة من تقنيات النانو. حيث أن النموذج يتضمن المرحلة الأولى حتى عام 2004 حيث يتم تقديم بينما تغطي المرحلة الثانية حتى عام 2009 وسوف يتم فيها أهم الاكتشافات في مجال صناعة النانو.أما في المرحلة الثالثة بدءا من عام 2010 وما بعدها، فإن تقنية النانو سوف تصبح الرئيسية في

البضائع المنتجة والمصنعة فيما يتعلق بالمنتجات الطبية وتطبيقات العلوم الحيوية التي تدخل فيها علوم الصيدلة والمعدات الطبية. كما ستسهم تقنية النانو الحيوية بوضوح في تطوير صناعة الصيدلانيات. كما ستفقد معدات النانو الرئيسية أهميتها في ذلك الوقت. بينما تتوقع مركز لوكس للأبحاث أن يصل النصيب السوقي لمنتجات تقنية النانو إلى 15% من إجمالي المنتجات المصنعة في عام 2014، و100% من تقنية النانو في تصنيع الكمبيوتر، الالكترونيات الاستهلاكية، 23% من المنتجات الصيدلانية و21% من السيارات. 85% و

إن التحليل التجريبي يمكننا أن نتوقع مستقبلا أكثر بريقا للتقنية نظرا لطبيعتها وتأثيرها الخاص في مجالات صناعة الصيدلانيات والالكترونيات، كما أنه لها التأثير الذي يمكن ملاحظته على التقنيات الحيوية التقليدية وحتى الوصول إلى المستوى الحالي باستخدام تقنيات المعلومات والاتصالات وسوف يكون لهذه التطورات تأثيرها الواضح على عدد الوظائف في مجال الصناعات الإنتاجية.

النانو في الصناعات الإنتاجية

لقد فتحت العلوم والتقنيات المتناهية في الصغر الباب أمام تطبيقات متعددة ومتنوعة تشمل مختلف المجالات العلمية والصناعية. تهتم هذه العلوم وهذه التقنيات بأجسام ذات أبعاد نانومترية؛ تتميز بخواص ميكانيكية، كيميائية، إلكترونية وكهربائية جديدة، نظرا لارتفاع نسبة سطحها على حجمها.

لقد لقيت تطبيقات النانو تكنولوجي في الصناعة انتشاراً واسعاً وتلقى قبولاً كبيراً نظراً لجودتها ودقتها، وتطبيقات النانو في الصناعة كثيرة ولا يمكن حصرها فمنها:

صناعة الورق:

تم استخدام تقنيات النانو تكنولوجي لتطوير صناعة الورق في مصر في إنجاز علمي مهم، وقد تمكن فريق بحثي بالمركز القومي للبحوث من تحضير أنواع متطورة من الورق من ألياف نانو مترية تم استخدامها من المخلفات الزراعية مثل قش الأرز ومصاصة القصب.

ويتميز هذا النوع من الورق المحضر بتكنولوجيا النانو بمواصفات عالية الجودة والمتانة تتفوق علي الورق المحضر بالطرق التقليدية.

وأشار المركز القومي للبحوث، إلى أنه باستخدام النانو تكنولوجي سوف يحدث طفرة في صناعة الورق في مصر, حيث يمكن الاستغناء نسبياً عن

استيراد لب الورق ذي الألياف الطويلة كما يمكن تصنيع ورق بمواصفات أعـلي في الجـودة بطرق ميكانيكية حديثة ومتطورة.

وقد تم التوصل من خلال النتائج الأولية للأبحاث إلى أنـواع متطـورة مـن الـورق من الألياف النانومترية لقش الأرز ومصاصة القصب لهـا قـوة شـد تعـادل مـن أربعـة إلى خمسة أضعاف قوة الشد للورق المحضر صناعيا بالطرق التقليدية.

صناعة البطاريات:

أعلن باحثون بمعهد تكنولوجيا ماساتشوستس أنهـم توصـلوا إلى صـنع بطاريـات صديقة للبيئة يمكنها تزويد السيارات الهجـين والهواتـف النقالـة بالطاقـة اللازمـة، وذلـك باستخدام تقنية النانو المتناهيـة الـصغر والفيروسـات المعدلـة وراثيـا وفـق تقريـر مجلـة "كومبيوتروورلد".

وذكـرت مـصادر المعهـد أن فيروسـات تـصيب البكتيريـا ولا تـضر الإنـسان، قـد استخدمت لبنـاء الطـرفين المـشحونين بالـسالب والموجـب (القطبـين) لبطاريـات أيونـات ليثيوم، لها نفس الطاقة والقدرة والأداء لأحدث الطرازات القابلة للـشحن، بحيـث تُـشغّل سيارات الطاقة الهجينة والأجهزة الإلكترونية الشخصية.

ولدى اختبار تلك البطاريات في المعامل، أمكن لمادة القطب السالب الجديدة (الكاثود) أن تشحن وتفرغ أكثر من مائة مرة دون أن تفقد أي جزء من سعتها وقدرتها الكهربائية.

وتمكن هذه التقنية بطاريات أيونات ليثيوم من الشحن في ثوان وليس ساعات. ويأملون أن يؤدي هذا الإنجاز إلى بطاريات أصغر وأسرع شحنا لاستخدامها في الهواتف النقالة والأجهزة الأخرى.

وبحسب علماء مشروع البحث، فإن تقنية الفيروسات المعدلة قد تم التوصل إليها منذ سنوات حيث تقوم ببناء أنود سالب الشحنة بتغليف نفسها بطبقة من أكسيد الكوبلت والذهب، ثم تتجمع الفيروسات لتكوّن سلكا متناهي الدقة.

لكن في الآونة الأخيرة، قام فريق البحث بهندسة تعديل فيروسات تغلف نفسها بفوسفات الحديد. ثم تقيد نفسها إلى أنابيب نانومترية (متناهية الصغر) من الكربون لإيجاد شبكة فائقة التوصيل.

ويمكن للإلكترونات الانتقال عبر شبكات أنابيب الكربون النانومترية، ناقلة الطاقة بسرعة كبيرة. وجاءت إضافة أنابيب الكربون النانومترية لتزيد مستوى الموصلية بدون إضافة وزن ثقيل للبطارية. ويرجح لبطاريات تبنى بهذه التقنية أن تكون خفيفة الوزن ومرنة بما يكفي لاتخاذ شكل حاوياتها.

صناعة الطائرات والسيارات:

تقدّم تقنية النانو الكثير لتحسين الصناعة في هذا المجال، فمثلا تتدخل هذه التقنية في صناعة الأبواب و المقاعد و الدعامات، و من أهم مميزات هذه القطع المحسّنة أنها صلبة و ذات مرونة عالية في نفس الوقت كما أنها تتميز بخفة وزنها.

وتدخل النانو أيضا في تحسين الزجاج بشكل عام و تحسين زجاج النوافذ بشكل خاص حيث يصبح عالي الشفافية، و ذلك باستخدام نوع معين من جسيمات النانو في صناعة نوع من الزجاج يعرف باسم "الزجاج النشط"، حيث أن هذه الجسيمات تتفاعل مع الأشعة الفوق بنفسجية فتهتز مما يزيل الرواسب والأوساخ و الغبار الملتصق بالسيارات كما أن هذه الجسيمات تتميز بأنها تشكل سطحا قابلا للماء مما يجعل تنظيفها أمرا سهلا لدرجة أنه أطلق عليه اسم "زجاج التنظيف الذاتي". ومن ميزات القطع المحسنة المستخدمة في صناعة الأجزاء الداخلية أنها تقلل من استهلاك الوقود، كما أنها ستساعد في صنع محركات نفاثة تتميز بهدوئها و أدائها العالي.

صناعة الدهانات والأصباغ:

تتميز هذه الدهانات بأن لها القدرة على مقاومة الخدش و التآكل و التفتت مما سيجعلها مناسبة تماما لدهن السفن والمراكب.

تنقية المياه:

ويعتبر من أهم التطبيقات التي تستخدم النانو حيث أن الكثير من الدول النامية تعاني من نقص في المياه و إذا ما استخدمت النانو في تنقيتها و معالجتها و تحليتها فإن ذلك سيؤدي إلى توفر المياه بشكل أكبر. كما أن درجة نقاء المياه ستكون أعلى من السابق حيث ستعمل جسيمات النانو المستخدمة على حجز ومنع مرور العوالق و الكائنات الحية الدقيقة في المياه.

والجدير بالذكر هنا قيام فريق بحثي سعودي باسم مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التقنية بالحصول على تسجيل حقوق اختراع لأغشية جديدة تحلي الماء من الأملاح و تنقيها من المواد السامة بكفاءة و سرعة عالية و ذلك بالاعتماد على تقنية النانو.

صناعة البلاستيك:

وتقوم حالياً شركة (هايبرد بلاستيكس)، أو البلاستيك المهجن، بإضافة مواد مصنعة عن طريق التقنية النانوية لمواد تمتد من مزيتات المحركات النفاثة وحتى ألواح الدوائر الكهربائية في القوارب وأحواض السباحة. وتعتبر هذه الجسيمات الدقيقة التي تبيعها الشركة صغيرة جداً لدرجة أن قطر أكبر جسيم يقدر بحوالي 3 نانومتر،(أي واحد من مليار من المتر).

وتُكسب هذه الجسيمات البلاستيك خواص فريدة كالقدرة على مقاومة الحرارة واللهب والبرد، فضلا عن زيادة صلابته.

الباب الثاني

مخاطر المواد متناهية الصغر

النانو عالم نجهل عنه الكثير، يقع بين مستوى المادة على هيئة ذرة لا تلمس ولا ترى، وبين مستوى المادة على هيئة كتلة مرئية وملموسة. ويمكن للنانو تكنولوجي Nanotechnology أن تقود العالم إلى ثورة صناعية جديدة. إن كلمة النانو (Nano) باللغة اليونانية تعني: (قزم)، أما علم النانو Nanoscience: فيقصد به ذلك العلم الذي يعتني بدراسة وتوصيف مواد النانو وتعيين خواصها وخصالها الكيميائية، والفيزيائية، والميكانيكية، مع دراسة الظواهر المرتبطة الناشئة عن تصغير أحجام الحبيبات.

كانت بدايات هذا العلم كما ذكرنا في الفصل السابق قبل ما يقارب خمسين عاماً حيث قام عالم الفيزياء الأمريكي الشهير البروفسور ريتشارد فينمان Richard Feynmanبإلقاء محاضرته المشهورة عام 1959م بعنوان (هنالك الكثير من الغرف بالقاع). و فينمان لم يشر إلى مصطلح تكنولوجيا النانو تحديداً في محاضرته ولكنه تنبأ بإمكانية التعامل مع الذرات بتحريكها وترتيبها.والآن أصبحت ثورة هذا العصر العلمية.

يقول البروفسور أدون توماس المتخصص في النانو: (النانو شيء مهول وذو فوائد عظيمة للبشرية في المجتمعات والاقتصاد وغيرها، فهو علم مستقل ويقع في الأهمية في موضع مواز للكهرباء والترانزستور والإنترنت والمضادات

الحيوية. و العلماء بحاجة إلى فهم أوسع وأدق لعالم هذه التقنية والمجالات التي تفيد فيها أو تستخدم من خلالها).

إن التطور السريع لتطبيقات النانو في الميادين العديدة، وما يقابله من نقص كبير في معرفة الآثار المترتبة على ذلك، يدعو إلى كثير من الحذر. فصناعة المواد متناهية الصغر صناعة سريعة النمو، سواء من حيث الحجم الإجمالي أو من حيث عدد المصنعين.ولكن المعرفة بالمخاطر الصحية والبيئية المحتملة لتكنولوجيا النانو تكاد تكون نادرة. هذا ينطبق أيضا على كيفية تأثيرها على الإنسان الذي لا شك في أنه سيكون أكثر عرضة للمواد متناهية الصغر.

وعلى الرغم من وجود أدلة كافية تشير إلى أن تطوير واستخدام المواد متناهية الصغر يجلب المخاطر على الصحة والبيئة. إلا أن الدراسات في هذا المجال ما زالت ضئيلة للغاية. فالتطور السريع في تكنولوجيا النانو يقابله للأسف نقص كبير في المعلومات عن مدى مخاطر استخدامها. ومن نتائج الاختبارات المبدئية لتأثير مواد النانو على الحيوانات تشير إلى أن استنشاق الجسيمات النانوية يفتك بالحيوان وهذا يدل - مما لا يدع للشك - على أثارها الضارة على صحة الإنسان.

الحاجة الماسة لمزيد من الأبحاث حول مخاطر النانو

ليس هناك ما يكفي من المعلومات حول التأثيرات البيئية للمواد النانوية، وتأثيرات امتصتها من قبل الكائنات الحية، وتأثير تراكمها داخل جسم الكائن الحي. علاوة على ذلك، فان تطوير أساليب للكشف عن المواد النانوية في البيئة سيكون تحدياً فنياً كبيراً. ومن المرجح أن يكون الجهاز التنفسي أهم طرق التعرض للمواد متناهية الصغر، وقد تم البحث بشكل رئيسي في هذا المجال. فقد أجريت تجربة في جامعة روتشيستر على فئران استنشقت جزيئات النانو وتبين فيما بعد أن جزيئات النانو استقرت في الدماغ والرئتين ما أدى إلى مضاعفات صحية خطيرة.ووجد أن جزيئات النانو ستكون قادرة على الانتشار إلى أجزاء أخرى من الجسم. ومع ذلك، فإن المعرفة حول الآثار الضارة لذلك محدودة جداً. كما تم دراسة تأثير الجزيئات النانوية على الشعب الهوائية، والعوامل التي تؤثر عليها في نهاية المطاف مثل خصائص الجزيئات (تكوينها وحجمها وقابليتها للذوبان)، وتأثير تكوين الشعب الهوائية عليها وتأثير الفروق الفردية في أنماط التنفس. بجانب ذلك أُجريت قليل من الدراسات اعتنت بامتصاص المواد متناهية الصغر عبر **القناة الهضمية**، وتبين هذه الدراسات أن أكثر المواد متناهية الصغر التي يتم دخولها في الجهاز الهضمي، تختفي سريعا من هناك. بالإضافة إلى دراسات أخرى اهتمت بامتصاص المواد النانوية عبر **الجلد** ـ الذي قد يكون نافذة هامه لامتصاص المواد النانويه ـ ولكن الآليات الكامنة وراء ذلك ما زالت غير واضحة.فالمواد متناهية الصغر يمكنها أن تعبر الأغشية المختلفة للخلايا، وعلى سبيل المثال فقد تم العثور عليها بعد اختراقها الجلد في

الميتوكوندريا ونواة الخلية. هذه المعلومات قد تكون ذات أهمية قصوى بالنسبة للسمية المواد النانوية.

دراسات أخرى تشير إلى أن بعض المواد النانوية يمكن امتصاصها من قبل الأنسجة البيولوجية، ولكن ليس من الممكن استخلاص أية استنتاجات عامة عن ميل المواد متناهية الصغر على التراكم الإحيائي فالدراسات التي أجريت تفيد أن هنالك حاجة ماسه لأدوات جديدة لفهم وتقدير حجم التعرض وتحديد الجرعات. ولكن لا توجد معلومات أيضاً حول مدى توفر هذه الأدوات في الوقت الحاضر.ويزيد الأمر تعقيداً انه لا يمكن استنباط تأثير جزيئات النانو بدراسة مواد على نطاق أوسع من المواد في حجم النانو متر. ولا يمكن وضع افتراضات عامة لجميع مواد النانو nanomatrials فيما يتعلق بكيفية التعامل معها.

إن الامتصاص غير المقصود للمواد متناهية الصغر يمكن أن تتم عن طريق الاستنشاق، أو عبر الفم، أو من خلال الجلد. وعن طريق العين وعن طرق أخرى أيضاً يمكن أن نتصورها في المستقبل. ولاستنشاق حاليا يعتبر من أهم طريق التعرض للجسيمات الدقيقة، و مقام البحث الأول في الوقت الحاضر. وهناك عدد قليل من دراسات حول تسمم البيئية بالمواد النانوية. لذلك، فإنه ليس من الممكن استخلاص أية استنتاجات عامة بشأن ما إذا كانت المواد النانوية تشكل خطراً كبيراً على البيئة أم لا. وهناك مشكلة أساسية في التقييم تقديرات التعرض للجسيمات النانوية وهي ليست محددة بسبب نقص في المعلومات.أما الدراسات المعنية بسمية المواد متناهية الصغر محدودة نسبيا.

مكمن الخطورة في المواد النانوية

تأثير المواد النانوية علي صحة الإنسان خطر كبير حيث أن جسيمات النانو قادرة علي الدخول إلى جسم الإنسان بيسر شديد من خلال المسام وبدون أي مقاومه وتستطيع الانتشار داخل الجسم مما يلحق الضرر الصحي بالإنسان. فلك أن تتخيل أن جسيم يستطيع الدخول وبكل سهوله في خلايا جسم الإنسان و يستطيع الدخول وبكل سهوله في نواه الخلية وهذا يدل علي الخطر الكبير الذي يمكن أن يتعرض له الإنسان فقد يحدث تفاعل بين هذه الجسيمات النانويه وخلايا جسم الإنسان مما يؤدي إلى تغير خصائص الخلية أو تسميمها وموتها.

وأظهرت دراسة جامعة أكسفورد أن نانو جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم الموجود في المراهم المضادة للشمس أصابت الحمض النووي DNA للجلد بالضرر. كما أظهرت دراسة من مركز جونسون للفضاء والتابع لناسا أن أنابيب الكربون النانويه تعد أكثر ضرراً من غبار الكوارتز الذي يسبب السيليكوسيس وهو مرض مميت يحصل في أماكن العمل.

كما تبين آخر التطورات التي طرأت على تكنولوجيا النانو أنه تم تطوير جوارب تحتوي على جزيئات نانو سيلفر تمنع رائحة القدمين لكن تبين أن لها عواقب وخيمة على جسم الإنسان. فهذه الجزيئات بكتيرية وهي قادرة على قتل البكتيريا النافعة المهمة في تحطيم المواد العضوية في النفايات ومحطات المعالجة أو المزارع.

كما بين سيتون انتوني من معهد طب في ادنبره (اسكتلندا) في دراسة نشرها أخيرا أن أنابيب الكربون النانومترية التي تعد بثورة تكنولوجية غير مسبوقة قد تكون ضارة وقاتلة للكائنات الحية بما فيها الإنسان لذا يجب التعامل مع هذا العلم بحرص شديد وقد طالب باستبعاد الأغذية والزراعة من هذا التطور التكنولوجي حفاظا على البشر. فمن المعلوم انه إذا ما تم امتصاص الجزيئات النانوية عبر جذور النباتات والأشجار أو عبر الهواء فإنها ستصل حتماً إلى الإنسان والحيوان عن طريق الغذاء. وهنا تكمن الخطورة وخاصةً إذا احتوت هذه الجزيئات خلال مراحل تصنيعها على مواد ضارة. ومهما يكن من أمر فان تكنولوجيا النانو من الأهمية بمكان ولكن قبل أن نطورها فلنبحث في آثارها السالبة مما سيوفر تقنية متصالحة مع البيئة.

مخاطر النانو.. النظرة دولية

تعقد منظمات البيئـة والـصحة العالميـة مـؤتمرات في كافـة أنحـاء العـالم لبحـث المخاطر التي قد تنجم عن استخدام هـذه التقنيـة وقـد نظـم أول اجـتماع عـالمي لبحـث أضرار النانو تكنولوجي في بروكسل.

ونشرت منظمة Green peace العالمية مؤخراً بياناً بينت فيه أنها لـن تـدعو إلى الحظر على أبحاث النانو. مشيرة إلى أن الإنسان اليوم هو على أبواب عصر جديد في جميع النواحي فلا يجب الوقوف بوجه هذا التطور لكنها دعـت إلى محاولـة تقلـيص الـسلبيات قدر الإمكان. فجسيمات النانو لها حجم يمكنها من التسلل وراء جهـاز المناعـة في الجـسم البشري وبإمكانها أيضاً أن تتسلل من خـلال غـشاء خلايـا الجلـد والرئـة و أن بإمكانهـا أن تتخطى حاجز دم الدماغ.

من جانب آخر قامت منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافـة (اليونـسكو) بمناقشة وصياغة مسألة الأبعاد الأخلاقية لتكنولوجيا النانو، وأصدرت لذلك «تكنولوجيـات النانو: العلـم والأخلاقيـات وقـضايا الـسياسات» Nanotechnologies: Science, ethics and policy issues، ان الهدف الرئيسي من ذلك هو وضع تصور لإعلان حـول أخلاقيـات تكنولوجيا النانو في الدول العربية تقوم اليونسكو باستكماله في صياغته النهائية بالتـشاور مع الوكالات العربية المتخصصة والأخلاقيات الدولية لمجتمع العلوم. لاغـرو أن تكنولوجيـا النانو من التقنيات الحديثة في المنطقة العربية، لذلك فنحن أمام تحـديات كبـيرة لتطـوير هذه التقنية في بلادنا العربيـة، مثـل إعـداد الكـوادر البـشرية، وبنـاء المختـبرات العلميـة، وتقديم الخدمات الاستشارية والتطبيقات العملية لهذه التقنية مع معرفة مخاطرها.

ما هي المواد متناهية الصغر

لكي ندرس تـأثير تكنولوجيـا النـانو عـلى الـصحة لابـد مـن معرفـة ماهيـة المـواد النانوية.

المواد متناهية الصغر هي مجموعة من المواد المختلفة والتـي يمكـن أن تختلـف مـن حيـث الحجـم (مـن 1 إلى 100 نـانومتر). إن المـواد النانويـة لهـا خـصائص عديـدة ومتجددة حيث يـتم إنتاجهـا بخطـى متـسارعة، ولـذلك يجـد العلـماء الـصعوبة في رسـم التصورات و التعمـيمات بعيـدة المـدى حـول الخـصائص الفيزيائيـة والكيميائيـة للمـواد متناهية الصغر. لأنه و كل يوم سيكون هناك العديد من الخصائص الفيزيائيـة الكيميائيـة الجديدة مما يبين الحاجة الماسة إلى توصيف المواد النانويـة. لا يـزال هنـاك عـدم معرفـة كافية لتحديد الخصائص التي سوف تحتاج إلى تقييم مخاطرها وتصنيفها حسب خطورتها على الصحة والبيئة.

أنواع المواد متناهية الصغر

المواد متناهية الصغر تشمل العديد من الهياكل والأحجام المختلفة، و تـشترك في ميزة كون حجمها أقل من 100 نانو متر في البعد الواحد على الأقل. ويمكن تصنيف المـواد النانوية كما يلي:

مواد نانو مترية ذات بعد واحد

الأغشية الرقيقة:

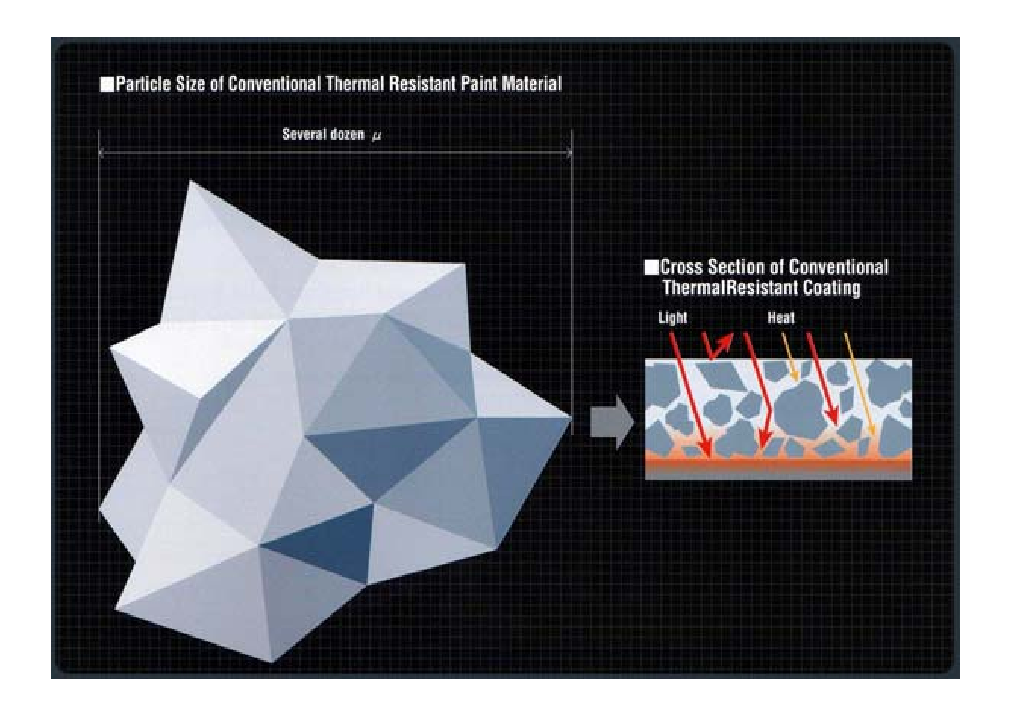
هي طبقات رقيقة مـن المـواد المـستخدمة النـانومتر والتـي تحـوي العديـد مـن الميكرومتر ذو سمك كثيف.و أشباه الموصلات والأجهزة الالكترونية والبـصرية والعيـد مـن أنواع الطلاء هي أهم التطبيقات التي تستفيد من رقيقة البناء. يجري العمل على الأغشية الرقيقة عالية النفاذية لاستخدامها في ذاكرة الكمبيوتر. كـما أن لهـا تطبيقـات عـبر رقيقـة التسليم للمواد الصيدلانية، والدوائية.

الطلاءات:

تستخدم مواد النانو كدهان و طلاء خارجي وداخلي للأسطح عامـة سـواء كانـت حوائط داخلية أو جـدران واجهـات أو واجهـات زجاجيـة ويـستخدم في دهـان الخزانـات عموما ومواسير شبكات المياه وخطوط الوقـود والغـاز وغيرهـا، المعرضـة لأشـعة الـشمس المباشرة وغير المباشرة.

فيعمــل الــدهان عــلى تكــوين طبقــة ذات مواصــفات مــصممة ومطــورة بتكنولوجيا النـانو تتكـون مـن بلـورات وجزيئـات بالغـة في الدقـة كرويـة الـشكل بـدون

فراغات مرتبة بشكل هندسي دقيق تعمل على تشتيت و عكس أشعة الشمس وحرارتها عن السطح المدهون، وبالتالي تنخفض درجة الحرارة الداخلية للسطح المدهون عن الدرجة الطبيعية بفارق يزيد عن (20) درجة مئوية.



مواد نانو المركبة من طين:

يستخدم هذا النوع الآن في بعض التطبيقات التجارية، على سبيل المثال في الأجزاء الداخلية للسيارة. و يتألف هذا الشكل من أوراق التي قد تكون رقيقة لبعد واحد نانو متر كما يمكن أن تستخدم على سبيل المثال لتغليف المواد الغذائية.

مواد نانوية ذات بعدين

أنابيب الكربون الدقيقة (أنابيب النانو):

أنابيب الكربون الدقيقة Nanotubes تترابط فيها الذرات ثلاثيا في رقائق منحنية تشكل أسطوانات مفرغة.

تم الحصول على الأنابيب النانو مترية بطريقة قوس الكربون مع تغيير طاقة القوس الكربوني لكي يصبح التيار مستمرا بدلا من التيار المتردد، وبالتالي أممكن الحصول على هياكل أنبوبية غريبة الشكل في أحد الرواسب على القطب. وهذه الأنابيب مكوَّنه بالكامل من الكربون، وتمَّت تسميتها الأنابيب النانو مترية وذلك نظرا لقطرها الذي يبلغ عدة نانومترات.

وقد اقترحت عدة طرق أخرى لإنتاج جزيئات الكربون المكونة من الأنابيب النانو مترية،وهي تشتمل:

- عمل تحليل كهربي باستخدام أقطاب من الجرافيت في أملاح منصهرة.
- تحليل حراري مُحفِّز للهيدروكربونات.
- تبخير للجرافيت باستخدام الليزر.

وباختلاف طرق عمل الأنابيب النانومترية، تكون لها خواص إلكترونيـة مختلفـة.. فبعضها يُتوقَّع أن يكون معدنيا بينما يكون البعض الآخر أشباه موصلات.

واتضح أن تلك الأنابيب النانومتريَّه قويَّة بدرجة لا تُصدَّق – فهـي أقـوى بمئـات المرات من الصلب، ويرجع ذلك جزئيا إلى شكلها الهندسي السداسي، والـذي يمكنـه توزيـع القـوى والتـشوهات بـسبب قـوة رابطـة الكربـون – كربـون، و بالتـالي فـإن لهـا خـواص إلكترونية غير عاديَّة... وقد تـم التوصـل إلى الأجهـزة الإلكترونيـة البـسيطة مثـل الأقطـاب الثنائية والمفاتيح و الترنزستورات باستخدام الأنابيب النانومتريه التـي كانـت أصـغر بكثـير من مكافئاتها من السيلكون المستخدم في تصنيع شرائح الحاسب الآلي.

وليس من المعروف حتى الآن إلي أي مدى سـيؤثر اكتـشاف الفلـورين والأنابيـب النانومترية في حياتنا، ولكن مع قوتها التي تبلغ 500 مرة قدر قوة الصلب، و مـع إمكانيـة استخدامها في الدوائر الإلكترونية، تصبح الاحتمالات هائلة.

أنابيب النانو غير العضوية:

مـن أمثـال هـذه الأنابيـب أنابيـب كبريتيـد الموليبـدينوم التـي اكتـشفت بعـد وقت قصير من اكتشاف أنابيب النانو الكربونية. وتتميز بخصائص تشابه خصائص زيـوت التـشحيم كـما تتميـز بقـدرة العاليـة لتخـزين الهيـدروجين والليثيـوم، ومقاومـة

موجات الضغط. هذه الخصائص تجعلها قابلة للاستخدام في عدة مجالات مختلفة.

شعيرات النانو:

هي أجسام نانوية تتميز بتوصيلها للتيار الكهربائي. وتعد مـن اللبنـات الأساسـية لبناء الأجهزة الإلكترونية الجزيئية. وتكون باقطار مختلفة على الأقل ثلاثة نانومتر، في حـين أن طولها متجمعة قد تكون عيانية، وتمتد إلى سم أو أكثر.

البوليمرات الحيوية:

إمكانية الجمع بين التكنولوجيا الحيوية وتكنولوجيا النانو في المستقبل يتوقـع أن يفتح كماً هائلاً من الفرص العلمية والتكنولوجية. خاصـة في مجـال البـوليميرات الحيويـة التي تجرى البحوث الآن حول علاقتها بالحمض النووي.

المواد النانوية ذات الثلاثة أبعاد

غالباً ما تعرف بأنها جسيمات أصغر من 100 نانومتر في قطرها. وغالباً ما تنتج صناعياُ لذلك هي أقلية بالمقارنة مع التي تنتج طبيعيا وتتكون من غير قصد.

المعادن والأكاسيد المعدنية:

أكاسيد المعادن عادة ما تستخدم في منتجات مستحضرات التجميل ومنها على سبيل المثال ثاني أكسيد التيتانيوم وأكسيد الزنك التي تستخدم في مستحضرات واقيات الشمس. ومن التطبيقات الأخرى للأكاسيد المعادن هي تطبيقها في الأصباغ والدهانات، كما تستخدم جزيئات من الحديد النقي في تحطيم الملوثات العضوية في التربة وقد ثبت أنها فعالة. ومن الجسيمات متناهية الصغر جسيمات الفضة والذهب النانوية التي يمكن أن تستخدم في التطبيقات الطبية. كمثال على ذلك هو ربط جزيئات الذهب مع الأجسام المضادة، وتمكينها من التركيز والوصول على الأورام الخبيثة.

الخصائص المميزة لجسيمات النانو

هنـاك الكثـير مـن الخـصائص الكيميائيـة والفيزيائيـة والميكانيكيـة التـي تميـز جسيمات النانو عن المواد غير النانونية نوجز منها:

1- **التوصيل الكهربي:**

بعض المواد العازلة تتحول إلي مواد جيدة التوصيل للكهربـاء نتيجـة وجودهـا في حجم النانو والعكس صحيح.

2- الصلابة:

تفوق صلابة جسيمات النانو صلابة الجسيمات غير النانونية لنفس المـادة مئـات المرات فمثلا صلابة جسيمات النانو المصنعة من السيلكون تفوق صلابة السيلكون مئـات المرات وبالتحديد تمتلك صلابة ما بين الياقوت والماس.

3- **القدرة علي تغير اللون:**

يتغير لون جسيمات النانو بتغير حجمها وشكلها وتظهـر هـذه الظـاهرة بوضـوح في جسيمات النانو لعنصري الذهب والفضة.

4- **الشفافية:**

جسيمات النانو ذات أبعـاد اقـل مـن الأطـوال الموجيـة للـضوء المـرئي ولـذلك لا تعكس أو تكسر الـضوء المـرئي مـما يجعلهـا ذات شـفافية عاليـة ولـذلك مـن الممكـن ان تستخدم لتغلفه الكثير من المنتجات دون أن تؤثر علي لونها مثل الأغلفة الـشفافة ومـواد التجميل.

طرق تحضير مواد النانو

خلافاً لما يحدث عند تحضير وتصنيع المواد المحسوسة (الحجمية)، فإن الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة الخام المستخدمة في تحضير المواد النانوية، تلعب دوراً هاماً للغاية. فقد اكتشف العلماء أن بعض المركبات عندما تصنع بأحجام نانو مترية فإنها تكتسب خواص فريدة لا تتوافر لها عندما تكون في الحجم المحسوس، فعلي الرغم من تطابق التكوين الكيميائي في الحالتين إلا أن المادة النانو مترية المتناهية في الصغر تكتسب صفات وخواص كهربية وضوئية ومغناطيسية استثنائية نتيجة للترتيب الجديد الذي تأخذه الذرات , فالبورسلين مثلا يعتبر مادة مهمة ولكنها هشة، وسبب هشاشتها أن الفراغ بين جزيئاتها (المكون من الرمل) كبير نسبيا مما يقلل من تماسكها فيمكن اخذ البورسلين الموجود في الصحون المكسورة مثلاً وتفكيكه إلي مكوناته الذرية الأصغر ثم إعادة ترتيب هذه المكونات فنحصل على بورسلين أقوي من الحديد يمكن استعماله في البناء أو في صناعة سيارات خفيفة الوزن لا تحتاج إلي كثير من الوقود. ومثال آخر، البترول يتشابه في تركيبه مع الكثير من المواد العضوية, فتقنية النانو تمكننا من صناعة أو تخليق مكونات بترولية من أي نفايات أو مخلفات عضوية بعد تفكيكها إلي مكوناتها الذرية ثم إعادة تجميعها فنحصل على بترول. وبناء علي هذا المفهوم يمكن صناعة التيتانيوم (المعدن الأشد صلابة علي الأرض الذي تصنع منه مركبات الفضاء) من أي خردة معدنية، ويمكن صناعة ملابس عادية واقية من الرصاص من النفايات

والمخلفات وغيرها من التطبيقات التي تعد بمثابة انقلاب جذري في العلاقة بين الصناعة والمواد الأولية بل ومجمل نظام التبادل الاقتصادي العالمي.

وهناك طرق عديدة لتصنيع المواد النانوية تم تقسيمها إلى قسمين رئيسيين (شكل 3)، أحدهما من أعلى إلى أدنى (top-down) حيث يتم تكسير المادة الأصلية (الكبيرة) شيئاً فشيئاً حتى الوصول إلى الحجم النانوى. وتستخدم عدة طرق لذلك منها الحفر الضوئى، القطع، الكحت والطحن. واستخدمت هذه التقنيات فى الحصول على مركبات إلكترونية مجهريه كشرائح الحاسب وغيرها. أما الطريقة الثانية فهى تبدأ من أسفل لأعلى(bottom –up)، بعكس الطريقة الأولى، حيث يتم بناء المادة النانوية انطلاقاً من ذرات وجزيئات يتم ترتيبها حتى نصل إلى الشكل والحجم النانوى المطلوب. وهذه الطريقة غالباً ما تكون طرق كيميائية، وتتميز بصغر حجم المواد الناتجة، وقلة الفاقد والحصول على روابط قوية للمادة النانوية الناتجة. وتجدر الإشارة بأن هناك العديد من الطرق التى لا يمكن حصرها فى هذا المقال.

ويستخدم عدد من الأجهزة النانوية لدراسة تركيب المواد الناتجة من تلك العمليات مثل: المجهر الإلكترونى الإنفاذى (TEM)، المجهر الإلكترونى الماسح (TFM)، مجهر القوى الذرية (AFM)، وحيود الأشعة السينية (XRD). وفى عام 1981 اخترع العالمان جيرد بينج وهنريك الميكروسكوب النفقى الماسح (STM)، الذى يقوم بتصوير الأجسام بحجم النانو، ومنذ ذلك التاريخ فقد زادت الاهتمامات البحثية المتعلقة بتصنيع ودراسة التركيبات النانوية للمواد.

تحضر المواد النانوية عموماً على أشكال مختلفة منها:

1- **النقاط الكمية Quantum Dots**

وهى عبارة عن نانوى شبه موصل ثلاثى البعد، تتراوح أبعاده ما بين 2 إلى 10 نانومتر. وعندما يكون قطر النقطة الكمية 10 نانومتر فإنه يمكن صف 3 ملايين نقطة كمية بجوار بعضها البعض بطول يساوى عرض إصبع إبهام الإنسان (شكل4).

2- **الفولورين Fullerene**

جزيئات نانوية مكونة من ذرات كربون مترابطة ثلاثيا تعطي شكل كريات لها بناء يماثل الجرافيت , ولكن بدلاً من الشكل السداسي النقي, فإنها تحتوى على أشكال خماسية (و احتمال سباعية) من ذرات الكربون, مما يؤدى لانثناء الطبقات إلى كريات أو أسطوانات، و يعد أكثر الفولورينات شهرة هو الجزيء C60، حيث تترتب الـ60 ذرة كربون على رؤوس مجسم عشريني ناقص. وشكل المجسم العشريني الناقص يشبه كرة القدم (شكل5)، و يتميز بأنه جزيء ممغنط و غير قابل للاحتكاك. وتم اكتشاف الفولورين قدراً عام 1944 عندما لاحظ أوتوهان وجود سلاسل من الكربون أثناء إجرائه لتجارب كانت تستهدف تكوين ذرات ثقيلة من ذرات أخف عن طريق امتصاصها للنيوترونات. إذ أن بحثه كان منصباً في الكشف عن الفروق الصغيرة في الوزن بين بعض ذرات العناصر الثقيلة التي يقوم بتبخيرها في قوس كربوني.

وأثناء مشاهدته لتلك النتائج، لاحظ أن القوس أنتج أيـضا سلاسـل مـن الكربـون كان لها (قدراً) نفس الوزن الجزيئي للمعدن، وحيث أنه لم يكن مهتما بـسلاسل الكربـون فقد دوَّن ملاحظاته بشأنها في نهاية تقريره ثم انطلق وراء الهدف الرئيـسي مـن بحثـه ولم تتم متابعة النتائج التي توصل إليها بشأن سلاسل الكربون إلا فى عـام 1985م عـن طريـق هارولد كروتو و معه كل من روبرت كيرل و ريتشارد سمالي الذين توصـلوا إلى أن سلاسـل الكربون تلك ما هي إلاّ صورة جديدة من صور الكربون.

3- **الكرات النانوية Nanoballs**

تنتمى الكرات النانوية إلى فئة الفلورينات (*C*60)، مع الاختلاف فى التركيب شـيئاً قليلاً وذلك لأنها متعددة القشرة، وخاوية المركز، وبسبب تركيبها الذى يـشبه البـصل فقـد أطلق عليها العلماء اسـم bucky أى البـصل. وقـد يـصل قطرهـا إلى مـا يزيـد عـن 500 نانومتر (شكل3).

4- **الجسيمات النانوية Nanoparticles**

فى تقنية النانو يعرف الجسيم بأنه أصغر وحدة (شيء) لـه الخـواص الكيميائيـة والفيزيائية للمادة الحجمية. والجسيمات النانوية لها أبعاد تتراوح بـين 1 إلى 100 نـانومتر (شكل7).

5- الأنابيب النانوية Nanotubes

المواد المستخدمة فى تقنية النانو تخضع لشرط أساسي، هذا الشرط هو مقياس النانو 1-100 نانومتر لذلك فإن المواد المستخدمة يجب أن يتم تقطيعها إلى أجزاء لا تزيد أقطارها عن 100 نانومتر. فالأنابيب النانوية تتكون من خليط من مواد موصلة ومواد أشباه موصلة أسطوانية الشكل مجوفة يتراوح قطر الأنبوب بين 1 إلى 100 نانومتر.

ويمكن إدخال عدة أنابيب ذات أنصاف أقطار متدرجة في الصغر لتصبح على الشكل التالي:

وكل أنبوبة من هذه الأنابيب تؤدى وظيفة مختلفة عن الأخرى. وأشهر الأنابيب النانوية أنابيب الكربون متناهية الصغر Carbon Nanotubes، والتي سوف نفرد لها مقالاً خاصاً لأهميتها العلمية والتطبيقية.

6- الأسلاك النانوية Nanowires

وهى عبارة عن أسلاك ذات بعد واحد (شكل9)، أقطارها تقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة، تكون فى الغالب نسبة طولها إلى عرضها أكثر من 1000 مرة. وتتميز عن الأسلاك العادية (ثلاثية البعد) بقوة التوصيل الكهربى، نتيجة لحصر الإلكترونات كمياً في إتجاه جانبي واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن المستويات العريضة فى المادة الحجمية.

7- الألياف النانوية Nanofibers

من أشهر الألياف النانوية الألياف المصنوعة من البوليمرات. ويكون عدد ذرات سطح الألياف كبير مقارنة بالعدد الكلى، وهذا يكسب الألياف خواص ميكانيكية (كالشدة، والصلابة،...) تؤهلها للاستخدام كمرشحات فى تنقية السوائل والغازات، وفى العديد من التطبيقات الطبية والعسكرية (شكل10).

8- المركبات النانوية Nanocomposites

وهى عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية تكسبها خواصاً مميزة إضافية. فعند إضافة أنابيب نانوية (الكربون مثلاً) إلى مادة ما، تزداد خواص التوصيل الكهربى والحرارى لتلك المادة نتيجة لإضافة أنابيب الكربون النانوية لها. وقد يحدث أيضاً تحسن فى الخصائص الضوئية والميكانيكية (الصلابة، الشدة) نتيجة لإضافة مواد نانوية معينة لبعض المواد. ومن أشهر المركبات النانوية الموجودة الآن المركبات البوليمرية.

انتشار المواد النانوية في البيئة

من غير الممكن وصف تكنولوجيا انتشار المواد النانوية في البيئة. فعادة تنقسم المـواد، الجزيئية إلى قابلة للـذوبان، أو قليلـة الـذوبان أو غـير القابلـة للـذوبان، لكـن بالنـسبة للمـواد متناهية الصغر فهي تشكل مجموعة غير متجانسة إلى حد بعيد لذلك فهي تتميز بمجموعة من الخصائص التي تعتبر دراستها هامة من أجـل دراسـة انتـشارها في البيئـة. عنـدها سـيكون مـن السهل تحليل انتشارها. فمن الممكن أن يكون لبعضها مقاومة التجمع أو التكتل وأخرى سوف تكون ذات سرعة انتشار أعلى من نظيراتها.

هل تتحلل المواد النانوية:

أن المواد النانويـة لـديها مـساحة كبـيرة محـددة بالمقارنـة مـع الجـسيمات المجهريـة الدقيقة، التي يمكن أن يتصور أن تنتشر في مساحة أكبر من انتشار المواد النانوية. هنـاك قـصور في المعلومات في الوقت الحاضر وذلك حول تعميمات المادة في الأحجام النانو متريـة هـل تكـون أكثر أو أقل سرعة في التحلل من الأشكال الأشياء الأخرى.

فبعض المواد متناهية الصغر تتكون من مواد هي في حد ذاتها صعبة أو مـستحيلة الكـسر. مثل المواد غير العضوية و مواد السيراميك وأكاسيد معدنية معينة أخرى. بعض المواد النانوية فريـدة مـن نوعهـا، عـلى سـبيل المثـال فـوليرين C60 والأنابيـب النـانو متريـة الكربونيـة، وهــي أشـكال

من الكربون. هذا قد يؤثر أيضا على التحلل من المواد اقصد التركيب الجزيئي.

فقد وجد أن الفوليرين C60 يتم تناوله من قبل فطريات الخشب، وهو ما يعد مؤشرا على أن الفطريات لديها القدرة على كسر هذه الهياكل الكيميائية. والتفاعلات الكيميائيـة لهـذه المركبات هي أيضا معروفـة نـسبيا. فمـن ناحيـة أخـرى، لا توجـد بيانـات واضحة عـن التحلـل الفوليرينات C60. كما يلاحظ أنه لا توجد معلومات كافية لجعل أي توقعات عـن تحلـل المـواد متناهية الصغر بصورة عامة، لا ينطبق ذلك فقط على المواد متناهية الـصغر ولكـن مـن حيـث المبدأ على جميع المـواد الكيميائيـة. فالتحلـل هـو أحـد المتطلبـات الأساسـية للدراسـات المـواد الكيميائية التي يجب الانتباه لها للنقص الحاد في هذا الجانب.

الانتشار مواد النانو عبر الهواء

الطريقة التي ينتشر بها الهباء معروفة نسبياً على أساس البحث حول الجزيئات الطبيعية والتي تنتج عن غير قصد، بما في ذلك المواد النانوية. وينبغي أيضا أن يكون من الممكن معرفة هذا المجال العلمي لكمية كبيرة من المواد حتى يتم تطبيقها على جسيمات الدقيقة التي تنتج عن غير قصد أو بقصد.و يمكن تقسيم المواد النانوية حسب انتشارها في الهواء إلى مايلي:

جسيمات نانوية في حجم 1-100 نانومتر:

إن الجسيمات في حجم 1-100 نانومتر، أي ما يعرف عادة بالمواد النانوية، فهي عموما لا تدوم طويلا في الغلاف الجوي. هذه الجزيئات صغيرة جدا لدرجة أنها تتأثر بقانون الطاقة الحركية للغاز، و بالتالي فانها ستكون متجمعة بسرعة نسبية اوبشكل أكبر.

الجسيمات الثانوية الكبيرة 100-1000 نانومتر:

أما الجسيمات الثانوية الكبيرة 100-1000 نانومتر، فهي يتوقع ان تميل إلى طريقة تراكم بسبب بقائهم المحمولة جوا وقتاً أطول من كل من الجزيئات الكبيرة والصغيرة.

جسيمات أكبر من 1000 نانومتر:

إن جسيمات أكبر من 1000 نانومتر يتوقع أن تترسب بسرعة أكبر بسبب حجمها.

انتشار المواد النانوية عبر المياه

أن المواد النانوية تترسب ببطء أكثر من الجسيمات التي تكبرها حجماً حتى من نفس المادة. يمكن للبعض أن يفترض أن يكون لها خواص الغروية – يمكن أن نتوقع على أية حال عدم غرق السفن على الإطلاق بفضل النانو- من ناحية أخرى، يشترط هذا إمكانات كبيرة لتتجمع المواد النانوية معا لتشكل مع جسيمات كبيرة حتى نتمكن من زيادة معدل ترسيب المواد النانوية وبهذه الطريقة يتم ترسيبها. فعالية هذه العملية يعتمد على خصائص المواد النانوية والمعايير البيئية، على سبيل المثال القوة الأيونية والحموضة. هناك بعض الأبحاث الأساسية في هذا المجال، على سبيل المثال وجود دراسات أجريت على المواد النانوية (الفوليرينات C60)، وثاني أكسيد التيتانيوم.

بعض الجسيمات النانوية أيضا لها خصائص تميزها في حد ذاتها عن بقية المواد النانوية اعني زيادة قدرتها على الحركة.

من جهة أخرى أظهرت دراسات أن المواد العضوية الطبيعية في البحيرات والمجاري المائية يمكن أن تزيد من نقل من أنابيب النانو.هذه نتائج لم تكن متوقعة.

انتشار المواد النانوية في التربة

قليل جدا ما هو معروف عموماً عن كيفية انتشار المواد متناهية الصغر في التربة. فأن ظاهرة الامتزاز والتجميع يمكن افتراض أن تكون أكبر من لجسيمات أكبر حجما. حيث يتوقـع أن تنفذ وتعبر عبر الممرات الضيقة بين جزيئات التربة، وبالتالي قد تكون متـشتتة بـصورة اكـبر عـبر التربة. التشتت والانتشار في التربة قد تكون ذا أهمية بالنسبة لكيفية وصول المـواد النانويـة إلى المياه الجوفية.

لا يوجد سوى عدد قليل جداً من التقارير المعنية عن حركة الجـسيمات النانويـة عـبر التربة. فمن المعقول أن نفترض أن الآليات والخصائص التي تحكم الربط بين الجسيمات الغروية بصفة عامة مهمة أيضا لتجميع وامتصاص الجسيمات النانويـة. قـد أظهـرت بعـد الدراسـات أن شكل والبناء الكيميائي للمواد المتناهية الصغر تلعب دورا هامـا في التنقـل عـبر التربـة.فقـد تـم تعديل C60 الفوليرين كيميائيا لتسهيل تشتته فكان أكبر قدرة على لانتشار 100 مـرة في التربـة من النموذج الأصلي. الكربون نانوتيوب في الدراسة ذاتها اثبت أن لديها إمكانات عالية للاختراق في التربة.

طرق وصول المواد النانوية البيئة

إن مجالات استخدام المـواد النانويـة يجعلهـا مـن الممكـن أن تـصل إلى البيئـة. حيث توجد هناك مجموعة كبيرة من المواد النانوية تستطيع بسهولة تصل إلى البيئة.

فيما يلي عددا من الأمثلـة للتطبيقـات التـي يمكـن أن يـستخدم أو اسـتخدمت بالفعل والتي يمكن أن يؤدي إلى انبعاثات المواد النانوية وبعض هذه المجـالات يتوقـع أن يرتفع ارتفاعا حادا، وبالتالي تؤدي إلى مزيد من الانبعاثات النانوية.

الصرف الصحي:

جسيمات الفوليرين الكروية و أكسيد التيتانيوم وأكسيد الزنك والحديد النانويـة التي تستخدم اليوم في منتجات العناية بالبشرة، وواقيات الشمس ومستحضرات التجميـل ستتمكن نسبة كبيرة منهـا مـن الوصـول إلى محطـات معالجـة الـصرف الـصحي، وبالتـالي ستتمكن للوصول إلى البيئة.

تطهير التربة الملوثة:

مساحة الاستخدام للمواد النانوية التي يتوقع أن تتسع هو تطهير التربة الملوثـة بالمواد النانوية. ولقد أثبتت جزيئات النانو لمعدن الحديد فعالية عالية في معالجـة التربـة الملوثة من المواد العضوية.ويمكن استخدام المواد النانوية لمكافحـة المعـادن الثقيلـة. فـإن ذلك يعني أن كميات كبيرة نسبيا من الجسيمات متناهيـة الـصغر التـي تطلـق في التربـة، وسوف تتمكن من الوصول إلى المياه الجوفية.

الزراعة:

يمكن أن تستخدم التكنولوجيا النانوية في مختلف مبيدات الآفات الزراعية.. هذا الاستخدام يعني أن الجسيمات النانوية سوف تنتشر في البيئة.

طرق أخرى:

إن مستوى إنتاج الكربون الأسود عالي بالفعل، وتشير التقديرات إلى أن إنتاج أنابيب الكربون النانوية، وألياف نانوية والمواد المشابهة ستقارب في المستقبل القريب أكثر من 10000 طن سنوياً. ولاشك أن ذلك سيساهم في وصولها إلى البيئة بشكل كبير.

حالات التعرض للمواد النانوية

يمكن للبشر أن تعرضوا للمواد متناهية الصغر بطرق مختلفة. مثل التعرض المهني، والتعرض المباشر و غير المباشر عن طريق البيئة (الغذاء والماء والتربة أو الهواء.) لذلك تبرز هنا أهمية المعلومات عن ترسب المواد النانوية ومصيرها اللاحق حيث أن المطلوب تقدير مقدار جرعة الفرد عند حالات التعرض. كما يتطلب ذلك حساب أن لهذه الجسيمات الدقيقة أيضاً كتله مما يؤكد أهمية دراسة الترسيب أيضاً.

التعرض المهني:

إن العمال معرضون للمواد متناهية الصغر أثناء تصنيعها، أو عند استخدام المنتجات المحتوية على مواد متناهية الصغر. كما يحدث التعرض أيضا عند إصلاح أو تدمير أوإعادة تدوير المنتجات المحتوية على مواد متناهية الصغر. والتعرض المهني للمواد متناهية الصغر يجب ان يلقى اهتماما خاصاً لأنه يحدث في أغلب الأحيان، وقد يحث التعرض بتركيزات مختلفة.

هناك العديد من المصادر المحتملة للتعرض لكل عمليات تصنيع المواد النانوية بالرغم من أن التصنيع يحدث عن طريق النظم المغلقة، لذلك فأغلب التعرض يحدث أساسا أثناء عمليات المناولة (نقل وتفريغ)، والتعبئة والتنظيف.لذلك من المهم إجراء المزيد من الأبحاث حول مدى فعالية المعدات الواقية الموجودة فيما يتعلق بالتعرض للمواد متناهية الصغر.

تعرض عامة الناس:

ويمكن لعامة الناس أن يتعرضوا للمـواد النانويـة عـن طريـق الاسـتخدام المبـاشر للمنتجات تحتوي على مواد متناهية الصغر. هنـاك بالفعـل منتجـات الاسـتهلاكية يوميـة، على سبيل المثال الالكترونيات والأدوية ومستحضرات التجميل، والمواد الحفازة، وعدد مـن المنتجات و التي من المتوقع أن تزداد مجالات اسـتخدامها. ويتـأثر هـذا التعـرض بعوامـل البيئية الواسعة النطاق كما يتفاوت حسب استعمال المستهلك.

ويمكن أيضا أن يتعرض عامة النـاس للمـواد متناهيـة الـصغر عـبر الهـواء وميـاه الشرب والمواد الغذائية، أو ربما التربة. غير أن المعلومات ليـست متـوفرة بالنـسبة لتقـدير كمية الانبعاث على البيئة. فالانبعاثات الناجمة عن حوادث أثناء التصنيع أو النقـل، أو في حالات الكوارث الطبيعية، ربما تؤدي إلى مزيد من التعرض لعامة الجمهور.

رغم التباين الكبـير في حـساسية الأفـراد بـين مختلـف النـاس، فجميـع الأفـراد لا يتأثرون بنفس الدرجة. أمثلة على هذه المجموعات فالأطفال هم أكثر حساسية مـن كبـار السن أو الأشخاص ذوي الأمراض المزمنة ذات الصلة بالبصر والرئة والجهاز القلبي الوعـائي والجهاز المناعي.

طرق دخول المواد النانوية جسم الإنسان

الاستنشاق:

إن الانتشار عبر الهواء مهم فيما يتعلق بالتعرض للمواد متناهية الصغر، وهذا ما يجعلها تصل إلى الريئة والشعب الهوائية وهـذا قـد يجعلهـا تترسـب لأسـفل في الـشعب الهوائية، ولكن كيفية وصولها إلى الجسم وطريقة التخلص منها يعتمد على الكيفيـة التـي يتم بها انتشار المواد النانوية، فضلا عن أهمية معرفة آثار ما سوف تسببه الجزيئات.

التوقعات قد أظهرت أن المواد متناهية الصغر يمكنها في نهاية المطاف أن تـستقر في أي مكـان في الممـرات الهوائيـة: بمـا في ذلـك البلعـوم الأنفـي، والـشعب الهوائيـة والحويصلات الهوائية.

من جانب آخـر يـستطيع الجـسم الـتخلص مـن الجزيئـات في الـشعب الهوائيـة بطريقتين، إما عن طريق الإزالة الميكانيكية أو من خلال العمليات الكيميائيـة. العمليـات الكيميائية يمكن أن تحدث في كل مكان في الشعب الهوائية، ولكن بدرجات متفاوتـة تبعـا للظروف المختلفة داخل وخارج الخلايا. أما الحركـات الميكانيكيـة فهـي تختلـف في أجـزاء مختلفة من الشعب الهوائية.

هناك أيضاً دراسات حـول وصـول المـواد النانويـة المستنـشقة إلى الـدورة الدموية. أظهرت دراسة واحدة أن الجسيمات النانوية المستنـشقة تـصل بـسرعة إلى الدم، وتتراكم في الكبد، في حين أن دراسة أخـرى لم تظهـر أي تـراكم. بالإضـافة إلى ذلـك، قـد يكـون استنـشاق المـواد المتناهيـة الـصغر مـسئولة عـن آثـار

سلبية على الأجهزة الأخرى، على سبيل المثال الآثار الثانوية على القلب والأوعية الدموية و صفائح الدم وبالتالي الدورة الدموية في الرئة.

عن طريق الفم:

دخول المواد متناهية الصغر يمكن أن تتم مباشرة عن طريق الطعام أو الماء أو الأدوية، أو بشكل غير مباشر بعد أن يكون قد تم نقلها عبر الجو.

هناك عدد قليل من الدراسات المعنية بانتقال المواد متناهية الصغر عبر الجهاز الهضمي، ولكن معظم الدراسات تظهر أنه بعد تناولها تختفي بسرعة من الجهاز الهضمي.الفرق في الامتصاص يفترض أن يكون نتيجة لعوامل مثل تكوين المواد النانوية، وحجمها، وسطحها وكيميائيتها. لذلك لابد من علاقة بين حجم المواد النانوية والامتصاص عن طريق القناة الهضمية. حيث ذكرت دراسات أن امتصاص جزيئات ببعد 100 نانومتر هو 15-250 أضعاف امتصاص الجسيمات المجهرية الدقيقة.كما أن فعالية امتصاص المواد النانوية يعتمد على نوع الأنسجة. وبالإضافة إلى ذلك تظهر التوقعات أن المواد النانوية قد تنتشر عن طريق الغشاء المخاطي.

عن طريق الجلد:

الجلد قد يكون طريقا هاما لامتصاص المواد متناهية الصغر عند التعرض المهني و نتيجة لاستخدام مستحضرات التجميل، وكريمات الوقاية من الشمس، والشامبو، الخ.

الجلد هو من أكبر أجهزة الجسم، وأحد مهامه هو الإقلال من امتصاص المواد الخارجية. معظم الدراسات التي تتعلق بامتصاص الجلد تجرى على جسيمات أكبر من 1 ميكرون. ومع ذلك، هناك بعض الدراسات التي تبين كيفية تراكم المواد النانوية في الجلد.

ويدور النقاش حول قدرة المواد النانوية على اختراق الجلد السليم. فقد تبين أن تمدد الجلد (كما عند المعصم) قد تجعل من الممكن للجزيئات حجمها 1 ميكرومتر قد تخترق الجلد.بالرغم من ان هناك الخصائص الفيزيولوجية مختلفة تجعل الجلد أكثر نفاذا إلى مواد متناهية الصغر كما تبين بعض الدراسات أن المواد النانوية التي يتم حقنها في الجلد تجد طريقها إلى الغدد الليمفاوية وربما إلى الدم، وبعض الدراسات أثبتت، أن المواد متناهية الصغر يمكن أن تصل إلى الدماغ عبر العصب حاسة الشم.

عن طريق العيون:

إمكانية التعرض للمواد النانوية عن طريق العينين يكون عبر مسحوق أو البخار.

أثر المواد النانوية على الصحة والبيئة

في الوقت الحاضر، هناك عدد قليل من دراسات حول سمية المواد النانوية على البيئية. لذلك، فإنه ليس من الممكن استخلاص أية استنتاجات عامة بشأن ما إذا كانت المواد النانوية تنتج عمدا قد تشكل خطرا أكبر على البيئة من المواد المنتجة بشكل عام. وهناك مشكلة عامة في التقييم هي أن تقديرات التعرض ليست مؤكدة بسبب نقص في المعلومات أيضاً. فمشاكل الجانب التجريبي للمواد النانوية إلى تعليق بالسمية والتعرض تؤدي إلى نقص المعلومات.

ولكن على سبيل المثال فان الآثار التي قد يكون من المتوقع من استخدام الجسيمات الحديد النانوية والتي تستخدم لتطهير التربة الملوثة،هذه الجسيمات لها رد الفعل ا يمكن أن يغيير في كيمياء التربة.

لاشك أن التعرض للمواد متناهية الصغر يمكن أن تضر بصحة الإنسان في ظل ظروف معينة. ومع ذلك، لا تؤدي كلها إلى زيادة سمية المواد متناهية الصغر في مقارنة مع المواد بحجم أكبر. ما لم يتم توضيح ما هي الخصائص الأكثر أهمية لحدوث تأثيرات سامة. رغم إن التعرض للجسيمات الدقيقة يتوقع أن تسبب التهاب مستمر في عدة أنواع مختلفة من الأنسجة والأعضاء. مع العلم إن الأكسجين وتفاعله مع المواد المتناهية الصغر هي عامل كبير يسهم في الالتهابات والتسمم الناجم عن الجزيئات متناهية الصغر. وهناك أيضاً أفكار يمكن أن تزيد معرفتنا بالعلاقة المحتملة

بين مختلف المواد متناهية الصغر، والأمراض، مثل أمراض سرطان الرئة وأمراض القلب والأوعية الدموية والسرطان.

فقد تبين ان الجزيئات المتناهية الصغر يمكن أن تغير خصائص حاجز الدم في الدماغ، وأنهم ربما قد تتلف الدماغ. أما بحوث السرطان فقد يحكم عليها من جانب أن ثاني أكسيد التيتانيوم وأسود الكربون وينظر اليهما على أنهما يمكن أن يسببان السرطان. هناك أدلة على أن الجسيمات الدقيقة التي قد تتسبب في أمراض القلب والشرايين وحدوث تغيير في الاستجابة المناعية. وثبت أيضا أن الجسيمات النانوية يمكن أن تؤثر على تخثر الدم، ولكن الآلية الكامنة وراء ذلك لا تزال غير واضحة. هناك دراسات تبين أن جسيمات الدقيقة يمكن أن تدخل وتؤثر في الميتوكوندريا، وأنها يمكن أن تدخل في نواة الخلية، وتحفز الإنزيمات. هذا قد يؤدي إلى زيادة الأكسدة أو المشاركة في النسخ أو إصلاح الجينات.لكن أرى أنه يجب تقسيم المواد النانوية ومن ثم تقييمها على أساس كل حالة لكل قسك على حدة حتى تتوفر قاعدة معلومات عريضة.

أشياء تؤثر في زيادة سمية المواد النانوية

الدراسات المعنية مع سمية المواد متناهية الصغر عموماً محدودة نسبيا. بعض الخصائص التي قد تكون ذات أهمية بالنسبة للسمية المواد متناهية الصغر وهي المذكورة أدناه:

الحجم:

يعتبر دونالدسون أن الحجم قد يكون واحدا من الأسباب التي تجعل من الجسيمات الدقيقة أكثر سمية من الجزيئات أكبر من نفس المادة. في دراسة أجريت لوحظ ان الالتهاب في الرئتين اكبر بعد التعرض لجزيئات متناهية الصغر (20 نانومتر) من إذا كانت الجزيئات الكبيرة (250 نانومتر).

الطول والسُمك:

فيما يتعلق بالألياف التي يتم استنشاقها، فالطول والسمك لهما أهمية حاسمة في تحديد المكان الذي ينتهي بها في الشعب الهوائية.

التركيب الكيميائي:

التركيب الكيميائي والخصائص الملازمة له هامة أيضا لسمية المواد النانونية فأثر التعرض للجسيمات النانوية من الكربون الأسود كان أشد من تأثير TiO_2، على الرغم من كل منهما ادى الى التهاب في الرئتين.

نوع المواد المخلوطة:

إن المواد النانوية في الهواء المحيط قد تتكون من خليط من المواد التي يمكن ان تتفاعل مع بعضها البعض.

أثر المواد النانوية في البيئة

هذه بعض المعلومات عن سمية المواد النانوية على الكائنات الحية التي يمكن استخدامها في تقييم المخاطر المواد النانوية على البيئية.

برغوث الماء:

لقياس سمية الجسيمات النانوية (TiO2 وفوليرين C60) في برغوث الماء. ثبت أن المواد النانوية تكون سامة لبرغوث الماء.

الأسماك:

الدراسة التي اجتذبت اهتماما كبيرا أظهرت أن C60 الفوليرين تسبب الأكسدة القابلة للقياس (علامة على التهاب) على الدماغ الأسماك. ونتائج هذه الدراسة تشير إلى أن الطريق لامتصاص المواد النانوية ووصولها إلى الدماغ قد يكون من خلال العصب الشمي للسمك، وهو ما يعني أنه يمكن امتصاصها عن طريق الخلايا العصبية. هذه النتائج، مع ذلك، ولكن في هنالك جزء من الشكوك بسبب استخدم الباحثون ماده في حد حد ذاتها سامة (رباعي هيدرو الفوران) بحل فوليرين C60 في المياه قبل الدراسة.

الكائنات الحية:

عموما ما زالنا نفتقر إلى المعرفة بشأن مخاطر المواد متناهية الصغر التي يجري تناولها عن طريق الأغذية في الكائنات العليا، مثل

الطيور والثدييات البحرية والبرية المفترسة، أو ما إذا كانت المواد متناهية الصغر يمكن أن تؤدي إلى آثار في هذه الكائنات.

الطحالب:

ليس هناك معرفة كيف تتصرف المواد متناهية الصغر أو ما الآثار التي قد تتسبببها على الطحالب.

الكائنات الدقيقة:

هناك بعض المواد التي يكون لها آثار على مضادات الميكروبات، مثل الفضة. ومع ذلك، فإنه ليس هنالك وضوح فيما يتعلق بالجسيمات متناهية الصغر من الفضة ما إذا كانت تساهم في تأثير مضادات الميكروبات. لكن الآثار المحتملة للمواد متناهية الصغر على الكائنات الحية الدقيقة يمكن أن تؤثر أيضا على وظائف في محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

الأثر في بيئة الاحيائية:

استخدام المواد النانوية لإزالة تلوث التربة عن طريق الحقن في التربة. ذو تأثير لوحظ ملحوظ على كيمياء التربة والماء ويؤثر أيضا في أكسجين التربة. وهذا قد يؤدي إلى تأثيرات غير مباشرة.

الكائنات الحية الأخرى والآثار على المستوى الخلوي:

وهناك عدد كبير من النتائج الجديدة على الآثار المواد متناهية الصغر قد قدمت في مؤتمرات علمية حديثة. تثبت مخاطر المواد النانوية عليها.

أثر مواد النانو على صحة الإنسان

نلقى نظرة عامة للمعرفة آثار المواد متناهية الصغر على بعض الأجهزة الهامة في الإنسان.

الرئة:

فيما يتعلق بآثار المواد النانوية على أجهزة الجسم، وخاصة آثار ذلك على الرئة والتي خضعت للدراسة أكثر من غيرها. على الفئران والبشر على حد سواء.

لاشك أن هناك علاقة موثقة بين تلوث الهواء بمواد النانو والتأثيرات الصحية في الفئات الضعيفة مثل الأطفال ومرضى الربو و زيادة الأعراض التنفسية المتزايدة، وضعف وظائف الرئة، وأمراض انسداد الشعب الهوائية المزمن وارتفاع نسبة الوفيات هي من بعض الآثار التي ترتبط بالتعرض لملوثات الهواء.

درس ترسب الجسيمات النانوية في الرئتين على مجموعات من البشر. فالأفراد الذين يعانون من الربو المعتدل كان عليهم استنشاق

جزيئات الكربون متناهية الصغر (متوسط 23 نانومتر، وجسيمات أصغر من 8.7 ملم) لمدة ساعتين، في الراحة وأثناء ممارسة الرياضة. ازداد الترسب عندما انخفض حجم الجسيمات وقلت الممارسة. لوحظ أيضا أن الترسب في البقية كان على ما يبدو أكبر بالنسبة للمصابين بالربو مقارنة مع الأشخاص الأصحاء. من ناحية أخرى، لوحظ انه لا فرق بين الجنسين. الجسيمات المتبقية في الرئة كانت أعلى من 74 ٪ من المصابين بالربو في الأشخاص الأصحاء. وأظن انه قد تسهم المواد النانوية في زيادة الحساسية فيما يتعلق بالآثار الصحية المرتبطة بتلوث الهواء.

الدم والكبد والطحال:

المواد النانوية التي تدخل إلى الجسم يتم تداولها بشكل كبير في الكبد، وبدرجة اقل في الطحال. وأظهرت الدراسات أن الجسيمات النانوية لها تأثيرات قوية فيما يتعلق بتعديل عوامل التجلط في الدم.و وجد أن بعضها شديد السمية في ظل ظروف معينة على خلايا الكبد الأولية.

البشرة:

ليس هناك أدلة حول سمية المواد متناهية الصغر.ولكن يستنتج أنها ليست ذات تأثير كبير هذا الاستنتاج يستند أساسا إلى معرفة المواد النانوية الأكثر شيوعا في مجال مستحضرات التجميل، وأكسيد الزنك وثاني أكسيد التيتانيوم. ومع ذلك، هناك حاجة إلى مزيد من المعرفة لنكون قادرين على إعطاء أي نتيجة حول تأثير لمواد متناهية الصغر على البشرة.

القلب والأوعية الدموية:

أن نظام القلب والأوعية الدموية لم يسبق أن اعتبر هدفاً مباشرها، سوى أن معلومات محدودة متاحة فيما يتعلق بالآثار المترتبة عليه من المواد النانوية.

فالتعرض لجسيمات مختلفة أفادت تقاريرها أنها تسبب الأكسدة، والتهاب وموت الخلايا في أنسجة القلب من الفئران بالإضافة إلى أنها يمكن أن تسبب تغييرات في عوامل التخثر في الدم، فإنه يمكنها الوصول بسهولة إلى الدم والانتقال عبره.والمواد المنقولة بالدم قد تصل إلى القلب وتؤثر بشكل مباشر على خلايا عضلة القلب والأنسجة الأخرى في قلب.

العديد من الدراسات تشير إلى أن زيادة في الجسيمات المحمولة جوا أقل من 10 ميكرونا يؤدي إلى آثار ضارة على الجهاز القلبي الوعائي، على سبيل المثال احتشاء عضلة القلب. وزيادة معدل ضربات القلب.

عندما تعرضت الفئران لمواد مختلفة، مثل الحديد أو النيكل في نفس الوقت مع جزيئات متناهية الصغر من الكربون، أدى ذلك إلى تفاعل وتأثير أكثر وضوحا في معدل ضربات القلب مما لو تم الجمع بين الآثار المترتبة على العناصر الفردية.

ومن ناحية أخرى وفي أعقاب عملية تقطير للأنابيب النانو الكربونية (SWCNTs) في الشعب الهوائية للفئران، لوحظ تلف الحمض النووي في الميتوكوندريا في الأورطي بعد60 يوما عقب التعرض.

الجهاز العصبي:

فقد تبين في العديد من الدراسات أن الجسيمات النانوية يمكن أن تدخل في الدماغ عبر عصب الشم. وقد تبين أيضا أنها تستطيع عبور حاجز الدم في الدماغ، الأمر الذي قد يعني زيادة السمية للجسيمات الدقيقة. لكن هناك نقص في المعرفة بشأن قدرة المواد متناهية الصغر إلى تلف الجهاز العصبي.

ولكن هناك دراسات تشير إلى أن الجزيئات المتناهية الصغر قد تكون قادرة على إلحاق أضرار في الدماغ. المواد النانوية (50-60 نانومتر) من النحاس والفضة أو الألمنيوم تؤدي إلى تلف خفيف في الإدراك وتغيرات في الخلايا الدماغية .

الجهاز المناعي:

هناك توقع حول أن الجسيمات النانوية في نخاع العظام قد تؤدي إلى تأثيرات على الجهاز المناعي وتكوين الدم.

فقد أوضح العلماء أن المواد متناهية الصغر تضعف جهاز المناعة تماما، والمطلوب هو إجراء مزيد من البحوث في هذا المجال. مثال على

ذلك هو البوليسترين ت التي يبلغ قطرها 100 نـانومتر، والتـي اثبـت انـه يمكـن أن تـؤدي إلى زيادة الالتهاب التحسسي، وبالتالي تزيد من أعراض الحساسية في بعض الأفـراد. هـذه النظريـة هو أن الجسيمات قد تلعب دورا بوصفها ناقلة للحساسية.

الضرر الذي يلحق بالجهاز التناسلي والأجنة:

وهناك نقص في المعرفة والقدرة للمواد متناهية الصغر على الضرر بالجهاز التناسلي أو أنها تؤثر في النظام الهرموني.

أنه لم يتم توضيح ما إذا كانت المواد متناهية الصغر قادرة على إلحاق أضرار بالمشيمة أو الجنين. فالقدرة المحتملة للمواد متناهية الصغر حول وصولها إلى الدم يعني أنها يمكن نقلهـا عبر المشيمة إلى الجنين.

تأثير المواد النانوية على النبات والحيوان

إذا ما تم امتصاص الجزيئات النانوية عبر جذور النباتات والأشجار أو عبر الهواء فإنها ستصل حتماً إلى الإنسان والحيوان عن طريق الغذاء. وهنا تكمن الخطورة وخاصةً إذا احتوت هذه الجزيئات خلال مراحل تصنيعها على مواد ضارة أو إذا ما نقلت معها المواد الخطرة الناتجة عن عمليات تنظيف محددة قد قامت بها النانويات. وتوضح أن الخطير في الموضوع أن استعمالات هذه التكنولوجيا قد بدأت تتسرب إلى حقل المواد الغذائية والقطاع الزراعي من دون معرفة المستهلكين أو حتى فتح باب النقاش المجتمعي حولها وإجراء الاختبارات الكافية حول سلامتها.

وأظهرت تجربة جديدة من جامعة روتشيستر أجريت على فئران تنفست جزيئات النانو وتبين فيما بعد أنها استقرت في الدماغ والرئتين ما أدى إلى مضاعفات صحية خطيرة.

كما تبين آخر التطورات التي طرأت على تكنولوجيا النانو أنه تم تطوير جوارب تحتوي على جزيئات نانو سيلفر تمنع رائحة القدمين لكن تبين أن لها عواقب وخيمة على جسم الإنسان.

التأثير على المناخ

إن احتمالية التأثير السلبي للمنتجات النانوية على الدورة المناخية هي حتماً مسألة تدعو للتأمل والتفكير الجدي، فقد تساهم النانويات في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي أو خفضها بشكل ما. وهكذا فإن التأثير النانوي على

المناخ ما يزال غير قابل للتقدير نظراً لغياب الدراسات البيئية في هذا المدار، إلا أنـه يمكـن التنبؤ الأولي بأن هذه النانويات في العقود الثلاثة القادمة ستكون ذات تأثير أقل بكثير من تأثير الانبعاث الغازي.

تؤثر مواد النانو تكنولوجي تأثيرا سلبيا علي البيئـه ويمكـن تـصنيف المخـاوف الي نوعين هما:

1- التراكم البيولوجي: الذي ينشأ من تراكم مواد النانو الغير مرغـوب فيهـا فمـن الممكـن لمواد النانو المتراكمة أن تكون لها أمصاصيه عاليه للمـواد الملوثـة عاليـه التركيـز مثـل الكادميوم والمبيدات فاذا تناولتها الحيوانات وماتت فأن المواد الملوثة سـوف تتـسرب إلي التربة وسوف تدخل في السلاسل الغذائية مما يؤدي لتلوث غذائي كبير.

2- صغر حجم مواد النانو: مما يصعب معه عمليا كشفها أو تنظيفها أو أزالتها من البيئـه فللعلم قطر الذره يبلـغ حـوالي 0.1 نـانومتر وقطـر نـواه الـذره يبلـغ حـوالي 0.0001 نانومتر فتخيل الحجم.

التأثير على دورة حياة الماء

بفعـل التـأثير الحـراري يتبخـر المـاء وتتـشكل الغيـوم وبعـدها تهطـل الأمطار، ضمن هذه الدورة سيكون باستطاعة الجزيئات النانويـة أن تتـوزع في وقت قصير جداً ممهدةً بذلك الطريق لنشر ونقل المـواد الـضارة. إلى أي مـدى وبأي كمية يمكن للنانويات أن تؤثر على جودة وسـلوك المـاء مـا زال موضـوعاً

قائماً للجدل، مع العلم أن تغيرات صغيرة كافية لإحداث اضطراب في النظام الإيكولوجي.

التأثير على الهواء

إن تأثير الغبار النـانوي عـلى الهـواء وجودتـه وبالتـالي عـلى صـحة الإنـسان عـبر استنشاقه للهواء الملوث بالذرات النانوية هو لأخطر بكثير من تأثير الغبار الدقيق وأدخنة المواصلات والمعامل، وذلك لأن الغبار النانوي سيبقى متخـثراً في الهـواء ولمـدة أطـول دون قابلية سريعة للترسب مما يساهم في دخولـه إلى الرئـات بـصورة أسرع. وفي الوقـت الـذي يمكن تخليص الهواء من الغبار العادي والدقيق وتقليله إلى الحـدود الـدنيا المـسموح بهـا وفق المواصفات العالمية، يصعب حتى اليوم تقدير إمكانيـات تخلـيص الهـواء مـن الغبـار والذرات النانوية وكذلك تقدير حجم الصعوبات المرافقة لـذلك بمـا فيهـا الحاجـة لأجهـزة القياس المناسبة والمطورة على أرضية التكنولوجيا النانوية.

التأثير على التربة

هناك مخاوف كبيرة بشأن مدى قدرة الذرات النانوية الدقيقة على حمـل المواد الضارة وتوزيعها في التربة ومن ثـم انتقالهـا إلى الكائنـات الأخـرى وتـشكيل ارتباطات وتفاعلات سامة، حيث أن غرام واحد من الغبار النـانوي كـاف لتلويـث مساحة لا تقل عن 1000 متر مربـع. الخلاصـة:كانـت القـدرة الحركيـة للجزيئـات النانوية كبيرة فإن هناك احتماليـة عاليـة لانتقـال المـواد الـضارة وبكميـات كبـيرة

وسرعات عالية إلى طبقات مختلفة من التربة وخاصةً إذا كانت التربة رطبة وسرعة جريان الماء فيها كبيرة نسبياً.

تعتبر النانو تكنولوجي سلاح ذو حدين فرغم الأيجابيات الكثيرة التي تحملها فبجب أن نذكر سلبياتها فعلم النانوتكنولوجي هو علم حديث وأمام العلماء الكثير من الأبحاث والأستكشافات في هذا العلم الوليد ومن الأخطار الممكنة بسبب النانو تكنولوجي تأثير المواد النانويه علي صحه الأنسان بشكل كبير حين يتم التعامل معها حيث أن جسيمات النانو لها القدرة علي الدخول في جسم الإنسان بسهوله من خلال المسام وبدون أي مقاومه وتستطيع الانتشار داخل الجسم مما يلحق الضرر بالإنسان. فلك أن تتخيل أن جسيم بحجم 300 نانومتر يستطيع الدخول وبكل سهوله في خلايا جسم الإنسان وأن جسيم بحجم 70 نانومتر يستطيع الدخول وبكل سهوله في نواه الخلية وهذا يدل علي الخطر الكبير الذي ممكن أن يتعرض له الإنسان فقد يحدث تفاعل بين هذه الجسيمات النانوية وخلايا جسم الإنسان لتؤدي لتغير خصائص الخلية أو تسميمها وموتها فقد أظهرت العديد من الدراسات التي أجريت علي الحيوانات أنه عند تعرضها لجسيمات النانو تدخل الجسم وتتجمع في الدماغ وخلايا الدم والأعصاب وهذا يعني أن جسيمات النانو هي مواد تدميريه لجسم الإنسان وأظهر بعض العلماء تخوفهم من أن تقنيه النانو سوف تقود البشريه إلى طريق طويل مليء بالمشاكل الصحية والمادية وربنا يستر.

نتيجةً للمخاوف والمخاطر الغامضة والتي لا يمكن تقديرها بالشكل المناسب نظراً لغياب الدراسات العلمية بهذا الشأن، فإنه لم يتم حتى الآن وضع

مخططات للمعالجة البيئية للأضرار التي ستنجم عن هذه التقنيات الغامضة في مدى تطورها، والسؤال الذي سيؤرق مضاجعنا في المستقبل القريب إذا ما تم إثبات حدوث المخاطر النانوية والتأثيرات السلبية للتكنولوجيا النانوية على الهواء والماء والتربة والنبات والحيوان والإنسان هو.. ما هي المشاكل النفسية والاجتماعية والصحية التي ستعاني منها البشرية؟ كيف سيمكن إعادة التصنيع والتدوير للمواد النانوية؟ و كيف سيستطيع الإنسان وبأية وسائل إزالة الذرات النانوية العالقة في طعامنا وشرابنا وهوائنا وتربتنا؟ وأسئلة أخرى كثيرة ما زالت عالقة تنتظر اللحظة، لحظة البدء بتقديم اقتراحات وسياسات للتحليل وإيجاد الحلول.

إن تخليص الهواء والماء والتربة من الجزيئات النانوية يتطلب تكاتف جهود علمية وخبرات في المجال الاجتماعي والصحي والنفسي وكذلك تقديم دراسات دورية ومنظمة حول التطور التكنونانوي وآفاقه. وأول المؤسسات التي ينبغي عليها بدءا من اللحظة المشاركة بتقديم الدراسات هي مراكز البحث العلمي وشركات التأمين الصحي ووزارات الصحة ومشافيها ومخابرها.

وفي هذا السياق ولحسن الحظ بدأت تظهر منذ سنوات قليلة محاولات لتأسيس معاهد جديدة بمحاور بحث علمية رئيسية مثل علوم هندسة دراسة الأخطار في مجال المواد النانوية وعلم التحليل النانوي والذي يهتم بدراسة هياكل وشبكات ذات مقاييس ذرية وقياس الخواص الميكانيكية والتركيب الكيميائي للجزيئات النانوية. كما بدأت تظهر بعض الكتابات في ميدان أدب

الخيال العلمي والتي تحاول تصوير عظمة هذه الثورة الصناعية الجديدة ومـدى بـشاعة ما قد ينتج عنها من مخاطر ورعب اجتماعي بيئي.

وأخيرا يجب أن نلفت الانتباه إلى إنه في حال حدوث التلوث النـانوي لـن يكـون ممكناً استعمال الأقنعة الواقية كما هو الحال في بعض التلوثات السامة وذلك لأن الحجوم النانوية الدقيقة سوف تجد طريقها إلى أجسادنا عبر القناع الـواقي مـما يـستدعي ابتكـار وسائل وطرق جديدة للوقاية من التلوث النانوي، وفي الوقت نفسه يجب التـذكير بأنـه في حالة تطوير القناع الواقي لدرجة يصعب فيها على النانويات التسرب عبرها، فإن المـشكلة التي ستواجه مستخدم القناع الواقي المطور هي الموت خنقاً لعدم استطاعته حينهـا عـلى أداء الشهيق والزفير. ولكن من حسن الحظ أيضاً أن إحـدى الـشركات العالميـة قـد بـدأت بحوثها من أجل تـصميم وإنتـاج أقنعـة حمايـة التـنفس بـالاعتماد عـلى اسـتخدام المـواد والتكنولوجيا النانوية وذلك بهدف بناء وحدة تصفية نانوية، والتي يعـترض إنتاجهـا حتـى اليوم صعوبات غاية في التعقيد.

السلامة والوقائية عند التعامل مع المواد النانوية

إن تقنية النانو التي ما يزال الكثير من جوانبها يكتنفه الغموض الشديد رغم ذلك بدأ الباحثين في هذا المجال يخوضون غمار التحدي ليصبح هذا التطور التكنولوجي المذهل والخطير مشاهداً ومطبقاً على أرض الواقع.ولأن الابتكارات التكنولوجية وغيرها دائماً لم ولن تكن خاليةً في يوم من الأيام من الجوانب الخطرة والسلبية والسلوكية والأخلاقية في جميع مجالاتها سواء في تبنيها أو إعدادها أو تشغيلها أو إنتاجها أو في استخدامها وتوزيعها واستهلاكها.

ومن هذا المنطلق فان لتقنية النانو إيجابيات وسلبيات.وهنا تبرز أهمية قواعد السلامة التنظيمية والوقائية والأخلاقية والسلوكية للقضاء على تلك المخاطر والسلبيات وما يترتب عليها من مضاعفات خطره وسلبية على الفرد والمجتمع وأخلاقياته وكذلك على الحيوانات والكائنات الحية الأخرى وعلى المواد و البيئة ومن أهم قواعد السلامة العامة والخاصة في مجال تكنولوجيا النانو كما ذكرها محمد المطوع في كتابه دليل الأمن والسلامة الأتي:

1- يجب تحديد مسار واضح وشفاف لهذه الثورة العلمية في مجال النانوتكنولوجي.

2- يجب تحديد مجالات محددة للمواد التي سوف يتم إدخال عملية تقنية النانو عليها.

3- يجب توضيح مدى الخطورة المترتبة على هـذه التقنيـة في كـل المجـالات والتخصـصات ومراحل الإعداد التشغيل والاستهلاك حتى يـتم إعـداد أنظمـة وخطـط تكفـل أمـن الإنسان وسلامته وخصوصيته.

4- يجب توضيح جميع السلبيات التي تشكله هذه النانو تكنولوجي على الفرد والمجتمـع وعلى جميع الكائنات الحية والبيئـة حتـى يـتم إعـداد أنظمـة وخطـط تكفـل أمـن الإنسان وسلامته وخصوصيته وكذل كل ما يدور حوله.

5- يجب عدم إهـمال هـذه التقنيـة مـن دون ضـوابط أمنيـة وسـلامة وقائيـة وتـشغيلية وسلوكية وأخلاقية وتكون محددة وشفافة وملزمة.

6- يجب أن لا تكون النانوتكنولوجي بوابة للعبث ألا إنساني وألا أخلاقـي بكيـان الإنـسان وخصوصيته والمخلوقات الحية الأخرى والمواد الصلبة والمواد البديلة.

7- يجب منع وبشدة تحويل أي مادة من شكلها الحـالي الإيجـابي والنفعـي والـسلمي إلى مادة أكثر خطورة وفتكاً على البشر أو على غـيره مـن الكائنـات الحيـة أو المنـشئات والمكتسبات والمقاصد الأخرى.

8- يجب تطبيق قواعد السلامة التنظيمية والوقائية على مختـبرات ومعامـل إنتـاج تقنيـة النانو ومراقبة نسبة الغازات المنبعثة من جراء تحويل المواد إلى مواد أخرى وقياسها بنسب دقيقة على مرور الساعة أو اليوم أو أكثر من ذلك حسب اشتراطات الـسلامة المحددة.

9- يجب أن تتكون لدى الفرد والمجتمع صورة واضحة عن جوانب هذه التقنية وما يترتب عليها من إيجابيات وسلبيات.

10- يجب إصدار دليل لقواعد السلامة التنظيمية والوقائية والإرشادية لتعامل مع تقنية النانو.

11- يجب توفير الخبرات المتخصصة في مجالات السلامة وتهيئة الجو المناسب والأجهزة والمعدات والملابس الوقائية المنسبة.

12- يجب تداول ثقافة النانو والنانو تكنولوجي عبر ثوابت الأمة وتوطينها باللغة العربية.

13- يجب تحديد هيئة علمية وشرعية ووقائية يرجع لها في تقنية النانو الحديثة.

14- يجب تبني خطط حديثة لقواعد السلامة في مجال تقنية وأبحاث النانو وخطط بدائل وإخلاء.

15- يجب إعداد خطط متنوعة في جميع تخصصات النانو قابلة لتحويل والتطوير في كل زمان ومكان.

16- يجب الاستفادة من جميع وسائل الإعلام بجميع تخصصاتها في إبراز تقنية النانو ووسائل السلامة والوقاية والحماية للجميع.

17- يجب تبني وإدراج مفهوم وثقافة علم النانو في جميع مراحل التعليم ووسائل السلامة والوقاية من خطرة بصورة مبسطه وسهلة وتكون في متناول جميع المستويات.

18- يجب في نقل وتعليم تقنية النانو أن نبتعد عن الألفاظ والتحويرات والمعاني الشاقة والمتكلف فيها في الرسائل التي توجه للمجتمع حتى لا يصبح المجتمع في تخوف من علم النانو.

أخلاقيات النانو تكنولوجي

قد قامت منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (اليونسكو) بمناقشة وصياغة مسألة الأبعاد الأخلاقية لتكنولوجيا النانو، وأصدرت لذلك «تكنولوجيات النانو: العلم والأخلاقيات وقضايا السياسات» Nanotechnologies: Science, ethics and policy issues،

جاء فيه إن تطور العلوم والتكنولوجيا أدى إلى حدوث تغييرات ايجابية في حياة البشر بشكل واضح وملموس، و إن تطور العلوم الطبية ساهم في تحسين الصحة العامة للمواطنين في كافة الدول.كما أدى تطور تكنولوجيا المعلومات إلى تسهيل عملية الاتصال بين البشر في جميع أنحاء العالم. وبالمثل أدى تطور علوم الماء إلى إيجاد طرق مستدامة للحصول على الماء وترشيد استهلاكه. بينما ساهمت العلوم الحياتية في اختراع منتجات جديدة أدت إلى راحة ورفاهية الإنسان.

وتأتي تكنولوجيا النانو لتتشابك وتتواصل مع كافة هذه المجالات مثيرة العديد من التساؤلات من حيث النواحي الأخلاقية لاستخداماتها فبالرغم من أن العلم يسعى إلى تحقيق الفائدة لبني البشر وبالرغم من إن معظم الدول النامية

والدول الأقل نموا تستخدم موارد العلم لتحقيق التنمية بها إلا إن النتائج المحققة لا تعود بالفائدة على تلك الدول.

لكي نتجنب التباين في التعامل مع أخلاقيات العلوم والتكنولوجيا فإن هناك حاجة متنامية لاتخاذ إجراء دولي في مجال تلك الأخلاقيات، لذلك أدت تلك الاعتبارات إلى حث الدول الأعضاء في منظمة اليونسكو لمنح هذه الأخلاقيات أولوياتها في مشروعات عملها.

ومنذ عام 1970 أثارت اليونسكو الانتباه إلى الأبعاد الأخلاقية للعلوم الحياتية وبصفة خاصة في مجال علم الجينات وتم تشكيل أول لجنة من الدول الأعضاء في المنظمة وهي اللجنة الدولي لأخلاقيات العلوم البيولوجية وذلك عام 1993م والتي تضم عدد (36) من الخبراء من جميع المناطق الإقليمية في العالم، وذلك لتقديم توصيات تتعلق ببعض الموضوعات المهمة لأخلاقيات البيولوجيا. وقامت اللجنة بوضع معايير تعريفية يمكن استخدامها في إعداد إطار عمل لأخلاقيات العلوم البيولوجية لجميع الدول.

وفي عام 1997 أقر المؤتمر العام لليونسكو الإعلان العالمي للجينوم البشري وحقوق الإنسان، واتبع ذلك بإقرار الإعلان العالمي لمعطيات الجينات البشرية عام 2003.

ونظرا للأهمية المتنامية للمعايير الدولية لأخلاقيات العلوم البيولوجية قامت الدول الأعضاء في اليونسكو باعتماد الإعلان العالمي لأخلاقيات العلوم البيولوجية وحقوق الإنسان وذلك في أكتوبر عام 2005م.

وقد أدى الوعي المتزايد بالمشكلات الأخلاقية ذات العلاقة بـالعلوم والتكنولوجيـا إلى تشكيل اللجنة الدولية لأخلاقيات العلوم والتكنولوجيا (الكوميست) مـن ممثلـين عـن الدول الأعضاء في المنظمة وذلك عام 1998م.

ان الهدف الرئيسي من انعقاد ذلك المؤتمر هو وضع تصور لإعلان حول أخلاقيات تكنولوجيا النانو في الدول العربية تقوم اليونسكو باستكماله في صياغته النهائية بالتـشاور مع الوكالات العربية المتخصصة والأخلاقيات الدولية لمجتمع العلوم.

وتعد تكنولوجيا النانو من التقنيات الحديثـة في المنطقـة العربيـة، لـذلك فـنحن أمام تحديات كبيرة لتطوير هذه التقنية في بلادنا العربيـة، مثـل إعـداد الكـوادر البـشرية، وبناء المختبرات العلمية، وتقديم الخدمات الاستشارية والتطبيقات العملية لهـذه التقنيـة للمصانع وشركات الإنتاج ونشر ثقافة تكنولوجيا النانو وسبل تجنب انعكاساتها الاجتماعية والأخلاقية بين أفراد المجتمع.

تقول الدكتورة صفات سلامة: أن هناك قضايا أخلاقيـة خاصـة تثيرهـا الخـصائص الفريدة لتكنولوجيا النانو، وهي: طابعها غير المـرئي عنـد تطبيقهـا Invisibility، وهـو مـا يجعل التحكم فيها وتتبع آثارها أمرا صعبا، وكذلك التطور السريع لهذه التكنولوجيا الذي يجعل من الصعب تحديد تأثيراتها المحتملة، لا سيما على المـدى البعيـد، والاسـتجابة لهـا، وأيضا احتمالات استخدام هذه التكنولوجيا في المجالات العسكرية والأمنية، وبمـا يتعـارض مع حقوق الإنسان، وأيـضا التـأثيرات المحتملـة عـلى الـدول والمجتمعـات التـي لا تـشارك في اسـتحداث هـذه التكنولوجيـا، كـما أن خطـر الفجـوة النانومتريـة Nano-divide،

وهو ما يعني احتمال تعميق اللامساواة بين الدول النامية والمتقدمة، من بين القضايا الأخلاقية التي تثيرها هذه التكنولوجيا.

وتعد دراسة المبادئ الأخلاقية لتكنولوجيا النانو من القضايا المهمة التي برزت عالميا في الآونة الأخيرة، بهدف التوصل إلى صياغة إطار أخلاقي Ethical Framework يمكن أن يرشد عملية البحث والتطوير في تكنولوجيا النانو، وكذلك ضرورة إلقاء الضوء على المبادئ التي تحكم المساءلة العامة والشفافية public accountability and transparency في اتخاذ القرارات المتعلقة بالبحث والتطوير والاستثمار في تكنولوجيا النانو، وبخاصة المخاطر والآثار التي قد تنجم عن استخدام النانو تكنولوجي في المجال العسكري، مع الأخذ في الاعتبار أخلاقيات العمل التنظيمي، كالمسؤولية الاجتماعية للمؤسسات والشركات العاملة في تكنولوجيا النانو.

ومن الجوانب المهمة في صياغة دستور أخلاقي للنانو تكنولوجي، تعزيز مشاركة عامة الجمهور في صياغة سياسات تكنولوجيا النانو، وطرحها للنقاش العام، وبخاصة الفئات المعنية بالصحة والبيئة والسلامة العامة، وخصوصا في الدول النامية، كما أن توسيع نطاق التغطية الإعلامية الدقيقة بشأن القضايا الأخلاقية لتكنولوجيا النانو من المسائل الضرورية للتوعية بشأنها، مع تجنب الأحكام الإيجابية أو السلبية التي تعلن حول هذه التكنولوجيا، بدون توفير الأدلة والبيانات الدقيقة والموضوعية.

وسوف تساعد التوعية والحوار العام المستنير المبكر المتوازن والجامع لمختلف التخصصات في مجال تكنولوجيا النانو، في إعداد ورسم السياسات العامة المتعلقة بمجال تكنولوجيا النانو وأخلاقياتها.

المراجــع

1. Applied nanotechnology in space, Kjetil Gjerde1
2. -Nanotechnology–high risks with small particles. Swedish Chemicals Agency
3. Jo Anne Shatkin- Nanotechnology Health and Environmental Risks

4. عبد الباسط حمودة – النانو تكنلـوجي علـم لايـزال في المهـد (محـاضرة)- 2006 دمشق سوريا.
5. عبد الله بن صالح الضويان و محمد بن صالح الصالحي -مقدمة في تقنيـة النـانو – 2007 جامعة الملك سعود.
6. تقنية النانو أين ستقودنا ؟ للدكتور عبد الله الضويان والدكتور محمد الصالحي.
7. صناعة النانو دراسة للتجربة العالمية للدكتور سلمان الركيان.
8. الصين والطفرة في صناعات النانو للدكتور سلمان الركيان.
9. عبد الإله بنيوسف- المواد المتناهية في الصغر وتطبيقاتها- كلية العلوم – جامعـة محمد الخامس.
10. مجلة Physics Worldترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.
11. عبد الباسط حمودة – النانو تكنلـوجي علـم لايـزال في المهـد (محـاضرة)- 2006 دمشق سوريا.

12. امجد خليل – التطبيقات الطبية للنانو تكنولوجيا-2009.

13. كلارتس دافيس-تكنلوجيا النانو – سلسلة ترجمات-2006.

14. سليمان بن عبد العزيز الريكان- صناعة النانو دراسة للتجربة العربية – 2007.

15. ممدوح مصطفى حلاوة- ضرورة حتمية النانو-القاهرة.

16. إبراهيم محمد علي الغامدي واخرون- النانو تكنولوجي -1430هـ.

17. مجلة العربي .

18. مجلة العلوم الامريكية.

المواقع الالكترونية:

19. www.sci-prospects.com

20. www.saudicnt.org

21. http://ar.wikipedia.org

22. http://al-jazirah.com

23. http://www.aawsat.com

24. http://knol.google.com

25. http://www.gwwf.net

26. http://www.marefa.org

27. www.trgmh.com

مخاطر تكنولوجيا النانو

دار الفن: 5658787





دار الحامد للنشر والتوزيع
الأردن - عمان- ص.ب.: 366 عمان 11941 الأردن
هاتف: 5231081 فاكس: 009626-5235594
E-mail: dar_alhamed@hotmail.com
daralhamed@yahoo.com
www.daralhamed.net